gustav schenk



de aarde

onze planeet in het heelal





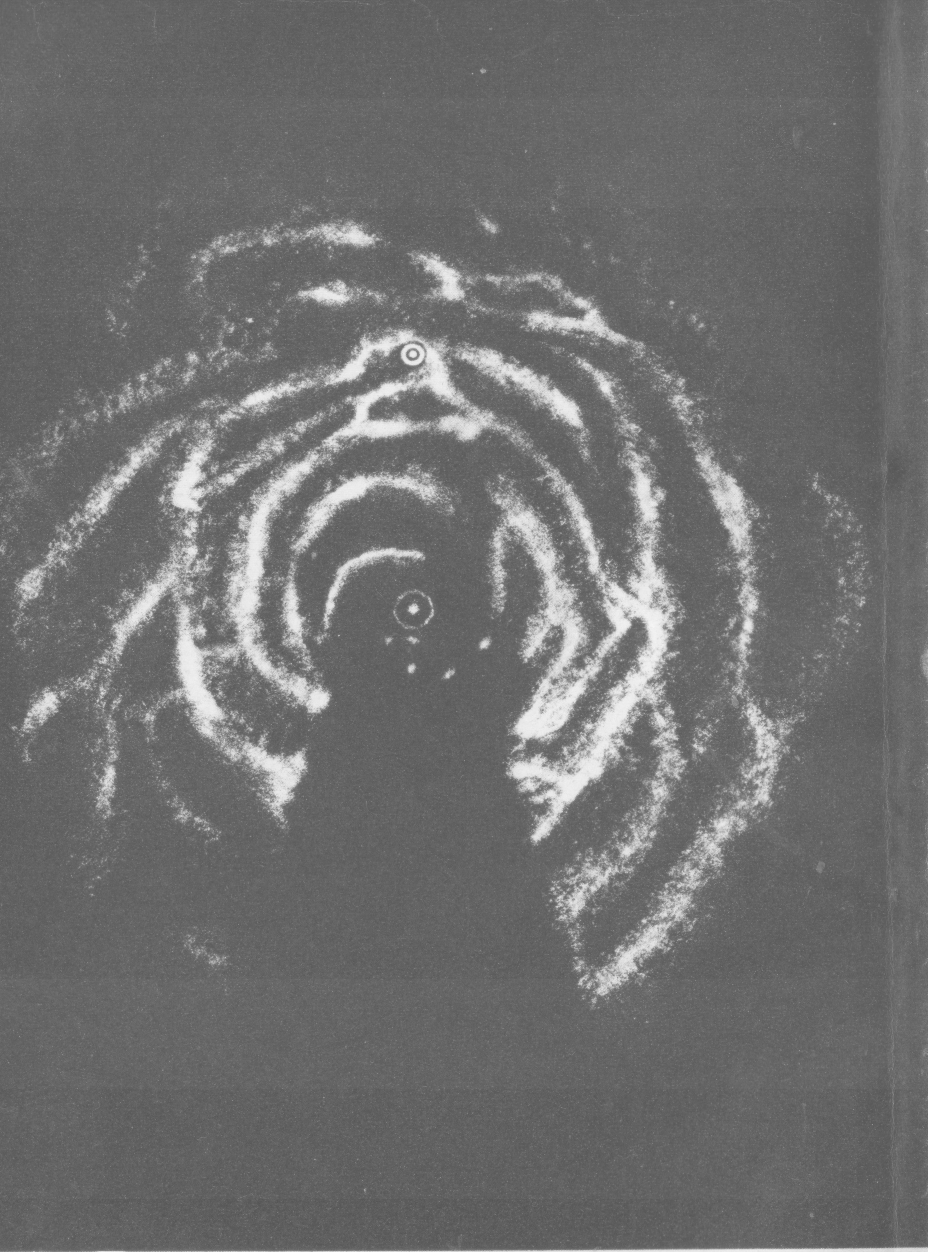
jupiterboeken / natuurwetenschap · kunst · techniek

De ontwikkeling van de ruimtevaart stelt de mens van het midden der twintigste eeuw meer dan alle voorafgegane generaties voor de vraag: welke plaats neemt de aarde in het heelal in? Nog nooit is zo scherp gevoeld de nietigheid van ons planeetje in de onvoorstelbaar grote kosmos, en tegelijk het wonderbaarlijk vermogen van de mens, de bewoner van dat planeetje, om de zwaartekracht die alle hemellichamen beheerst te overwinnen en buiten de eigen natuurlijke levenskring te treden.

Gustav Schenk, die in *De Mens* (Jupiterboeken 1) het wonder van ons bestaan en ontstaan beschreven heeft, geeft in *De Aarde* op even aanschouwelijke en levendige wijze een beeld van het leven van onze planeet: hoe de zon het leven op aarde wekt, onderhoudt en bedreigt, en hoe de aarde de onmisbare warmtestraling weet vast te houden door de dampkring, maar zich tegen het dodelijke geweld van stralingsstoten beschermt door hoge dampkringslagen waarvan men tot voor kort het bestaan niet eens kende. *Schenk* ontwerpt ook een beeld van de ontdekkingen die de mens juist in de laatste jaren gedaan heeft om de aarde zelf te leren kennen: het onderzoek van het Zuidpoolcontinent onder kilometers dik ijs, van de onderzeese bergruggen en afgronden, de dieptestromingen en de vloedgolven. Hij zet uiteen hoe de wetenschap ook het binnenste van de aarde hoe langer hoe beter leert kennen door het bestuderen van vulkanische uitbarstingen en aardbevingen, en hoe de ruimtesatellieten over enkele jaren zo volledige berichten over de weerstoestand op de gehele aarde zullen uitzenden, dat weersvoorspellingen op langere termijn eindelijk mogelijk zullen worden. Evenals *De Mens* bevat *De Aarde* een groot aantal afbeeldingen, schema's en tabellen waardoor ook moeilijke gedeelten tot de lezer gaan spreken.

JUPITER BOEKEN

NATUURWETENSCHAP · KUNST · TECHNIEK



GUSTAV SCHENK

DE AARDE

ONZE PLANEET IN HET HEELAL

W. DE HAAN/ZEIST

VAN LOGHUM SLATERUS/ARNHEM

STANDAARD BOEKHANDEL/ANTWERPEN

Vertaling: Dr. H. Leids

Frontispice: ‹Artist's Impression›. De foto toont de verdeling van de neutrale waterstof in het Melkwegstelsel. Deze werd gemaakt op grond van de waarneming van een spectraallijn die door neutrale waterstof op een golflengte van 21 cm uitgestraald wordt. De waarnemingen werden gedaan door de Nederlandse Stichting voor Radioastronomie te Leiden en door de afdeling voor radiofysica van de Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation te Sidney.

De afbeeldingen zijn gekozen door de schrijver.
Grafische uitwerking van de tekeningen, overzichtstabellen en diagrammen: Peter Straub, Stuttgart.

Gedrukt in rotatie-diepdruk.

ONZE PLANEET IN DE WERELDRUIMTE

De mens is niet de maat aller dingen, zelfs niet van zijn vaderland Aarde, dat hij waant te bezitten en te kennen. Zijns ondanks voert de geheimzinnige, met energie geladen kogelsatelliet van de zon de mens en alle andere levende wezens mee door de wereldruimte. En zijn zon is maar een van de honderden miljarden zonnen van onze melkweg. Maar er zijn meer dan een miljard zulke melkwegstelsels in de wereldruimte, en daar sommige geleerden aannemen, dat 1 tot 10% van alle normale sterren planeten om zich heen hebben, bewegen er zich waarschijnlijk in onze melkweg 1 tot 10 miljard planetenstelsels en in de kosmos een miljard maal een (tot tien) miljard. Zij behoeven niet zozeer op de aarde te gelijken dat ze op mensen gelijkende wezens voortgebracht zouden hebben, die proberen het absoluut onvoorstelbare met menselijk verstand te benaderen. De Engelse filosoof en staatsman Francis Bacon maakte in de 16e eeuw de opmerking: «Men mag het heelal niet verkleinen om het aan de beperkingen van het verstandelijke begrip aan te passen, zoals de mens tot nog toe placht te doen; wij moeten integendeel ons weten steeds verder uitbreiden en vermeerderen, zodat het het beeld van het heelal, naarmate het ontdekt wordt, kan begrijpen.»
Maar hoe verder wij ons weten uitbreiden, des te minder begrijpen wij het beeld van het heelal. En Bacon wist niet eens hoe groot alleen de aarde al is. Juist 400 jaar na die geleerdste man van zijn tijd begint de mens iets te vermoeden van de ware aard van de planeet aarde. Zij is geen dode begeleidster van de zon, geen koud geworden korrel wereldstof, geen slakvormig uitschot van een verheven ster. Onder 's mensen voetzolen en boven zijn kruin houdt de aarde niet op, zij eindigt niet bij het aardoppervlak of de zeespiegel. Zelfs de wolken, de nevels, lucht die wij kunnen in- en uitademen of de hoge regionen met hun jet-streams, paarlemoerwolken, lichtende vegen en noorderlicht vormen niet de begrenzing van de machtige uitgebreidheid der aarde. Zij is geen geïsoleerde, vast omlijnde steenklomp die, blindelings door de zon gedreven, met die zon door een stuk van de melkweg vliegt. Het feit van het bestaan van de mens en de waarborg daarvan is geen kenmerk van de gedaante en uitgebreidheid der aarde. De onderscheidende kenmerken die wij toekennen aan het vaste, het vloeibare en het gasvormige geven niet de grens aan tussen het aardse en het niet-aardse. Het aardse is niet alleen het aardoppervlak. Wij lijken op wezens op de bodem van de diepzee. En een hoogte van tien of twintig kilometer, waar onze longen zich niet meer met zuurstof kunnen vullen en waar ons bloed in letterlijke zin gaat koken, betekent nog niet de begrenzing van de planeet.

In 1957 is er een nieuwe era in de geschiedenis van de mensheid begonnen. Geleerden uit de hele wereld zetten, met steun van de regeringen van zesenzestig landen, een de hele aarde omspannend experiment op touw: het Geofysische Jaar. Het

Internationale Geofysische Jaar (IGY) 1957—'58 was een grote en gedurfde onderneming, waardoor er een geheel nieuwe voorstelling van de aarde en van de ruimte tussen zon en aarde verkregen zou worden. Maar dat wij een zo gans ander beeld van onze planeet kregen was ook te danken aan een baanbrekende uitvinding: de ontwikkeling van kunstmatige satellieten. Toen op 4 oktober 1957 de eerste door mensen gemaakte wachter van de aarde, de ‹Spoetnik I›, tot op een gemiddelde hoogte van 568 km werd geschoten, begon het jaar 1 van een nieuwe eeuw. Wij drongen in tot dusver niet bereikte hoogten door maar verlieten toch de aarde niet, want haar atmosfeer reikte verder dan iemand vermoed had. Wij namen bezit van het grensgebied waar het aardse gebeuren zich vermengt met het kosmische en dat van de dichtstbijzijnde vaste ster, de zon. Wij kwamen in de nabuurschap van de kosmos. In 1961 begon het jaar 2 van een nieuwe wereldbeleving en een nieuw wereldbeeld: door middel van raketten verhief de mens zich uit zijn afgrond en zag hij voor het eerst de aardbol vanuit een gebied dat tot de wereldruimte, de exosfeer, scheen te behoren.

De astronauten Juri Gagarin, Alan B. Shepard en German Titow waren de eerste mensen die deze belevenis beschreven.

Juri Gagarin: «Tijdens de vlucht kon ik voor het eerst met eigen ogen de bolvorm van de aarde zien. Die indruk maakt ze als men naar de horizon kijkt. De overgang van de verlichte aarde naar de volkomen zwarte hemel, waaraan de sterren zichtbaar zijn, is uitermate fraai. Die overgang kent zeer fijne gradaties, het is alsof de aardbol besloten was in een tederblauwe foelie; de overgang van lichtblauw tot zwart voltrekt zich bijzonder mooi en harmonisch. Toen ik uit de aardschaduw kwam, bood de horizon een ander schouwspel. Er was een oranjegele heel heldere streep, die ook weer in lichtblauw en daarna zwart overging. De zon schijnt in de kosmos vele malen helderder dan bij ons op aarde.»

Alan B. Shepard: «Het was adembenemend. De hemel was heel donker blauw en de wolken hadden een prachtige witte kleur. Tussen mij en de wolken was iets dat op mist geleek, het was de breking van het zonlicht door de verschillende lagen van de atmosfeer.»

German Titow: «De overgang van de verlichte aarde, door een lichtblauw aureool omgeven, naar de zwarte hemel glinsterde met alle kleuren van de regenboog. Soms kreeg ik de indruk dat de aarde boven mijn hoofd hing.»

Voordat de eerste bemande ruimtevlucht kon plaatsvinden, waren gedurende drie jaar en vier maanden door onbemande satellieten en ruimtesonden feiten geregistreerd en naar de aarde gezonden.

Toen de ruimtecapsules van Gagarin en Shepard zich losmaakten van hun raketten, stuurden tegelijkertijd omstreeks 25 satellieten hun berichten naar de aarde. Duizenden kilometers magnetografische band bewaarden hun berichten: epen uit het heelal, drama's van zonnestormen en plasmawolken, en tenslotte een zelfportret van de aarde, dat onverwachte en ongelofelijke dingen aan het licht bracht.



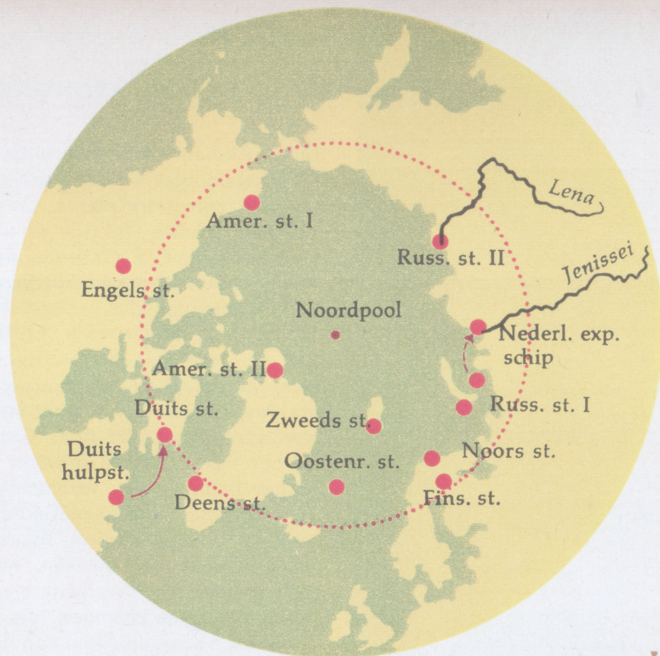
1 · Poolzon boven de Mt. Dundas bij Thule (Groenland).

I

HET GROTE AVONTUUR

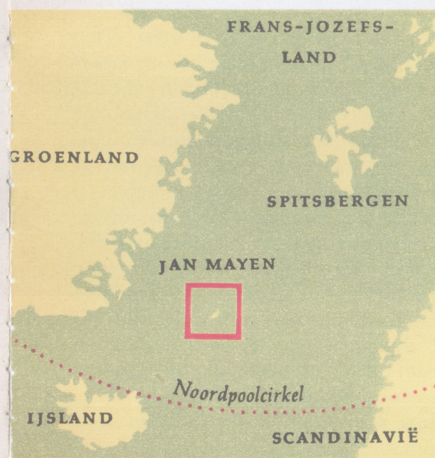
Internationale samenwerking. Het IGY kwam niet uit de lucht vallen: het had zijn geschiedenis. Ongeveer 120 jaar geleden stichtten de wis- en sterrekundige C. F. Gauss en de fysicus Wilhelm Weber in Göttingen het eerste magnetische observatorium (1833). Alexander von Humboldt gaf de stoot tot het vestigen van meer aardmagnetische waarnemingsstations op grond van internationale overeenkomsten. De door Gauss en Weber gestichte ‹Göttinger Erdmagnetische Verein› verzamelde van 1836 tot 1841 aardmagnetische gegevens, die door 44 stations ingezonden werden. Deze afgesproken, met gelijke instrumenten verrichte magnetometer-metingen dienden als voorbeeld bij het organiseren van de twee ‹Pooljaren› 1882—'83 en 1932—'33. Met de hulp van deze internationale samenwerking wilde Gauss het ‹hiëroglyfenschrift van de natuur› ontcijferen, de geheimzinnige schommelingen van het magnetische veld der aarde verklaren. Zo werd een van de centrale problemen van de geofysica aangesneden. De weg van het onderzoek begon bij het ‹permanente› aardmagnetische veld, dat waarschijnlijk door geweldige electrische stromen in het binnenste van de aarde ontstaat en de magneetnaald dwingt naar het noorden te wijzen. In de loop van meer dan een eeuw leidde deze weg naar het onderzoek van ‹magnetische stormen›, veroorzaakt door erupties op de zon.

2 · Meteorologisch station in Canadees Arctica.



3 · Kaart van de dislocatie der arctische waarnemingsposten in het Eerste Pooljaar, dat van zomer 1882 tot zomer 1883 duurde en als voorloper van het Internationale Geofysische Jaar 1957—'58 een belangrijke rol gespeeld heeft. Na twee internationale poolconferenties in 1879 en 1880 werd eindelijk op de derde bijeenkomst die in augustus 1881 in St. Petersburg plaatsvond, de definitieve beslissing over de inrichtung van 12 waarnemingsposten in de Noordpoolstreken genomen. Met het werkprogramma voor het Pooljaar werd het idee van de Oostenrijkse zeeofficier Weyprecht verwezenlijkt: er moesten door een aantal expedities, over het poolgebied verspreid, met dezelfde instrumenten en dezelfde instructies gelijktijdige waarnemingen gedaan worden. In het voorjaar van 1881 gingen de manschappen uit 10 landen naar de volgende posten op weg: de Oostenrijkers naar Jan Mayen in de Noordelijke IJszee, de Zweden naar kaap Thordson op Spitsbergen, de Noren naar Bossekop, de Finnen naar Sodanklyä in Lapland, de eerste Russische expeditie naar Nova Zembla, de Hollanders naar de mond van de Jenissei, de tweede Russische expeditie naar de mond van de Lena, de eerste Amerikaanse groep naar Point-Barrow in Alaska, de Engelsen naar het Grote Slavenmeer in Canada, de tweede Amerikaanse groep naar de Lady-Franklinbaai op Ellesmereland, de twee Duitse groepen naar West-Groenland en Labrador. Van deze posten bleef de Jenesseimond onbezet doordat het ijs de Hollanders de weg versperde.

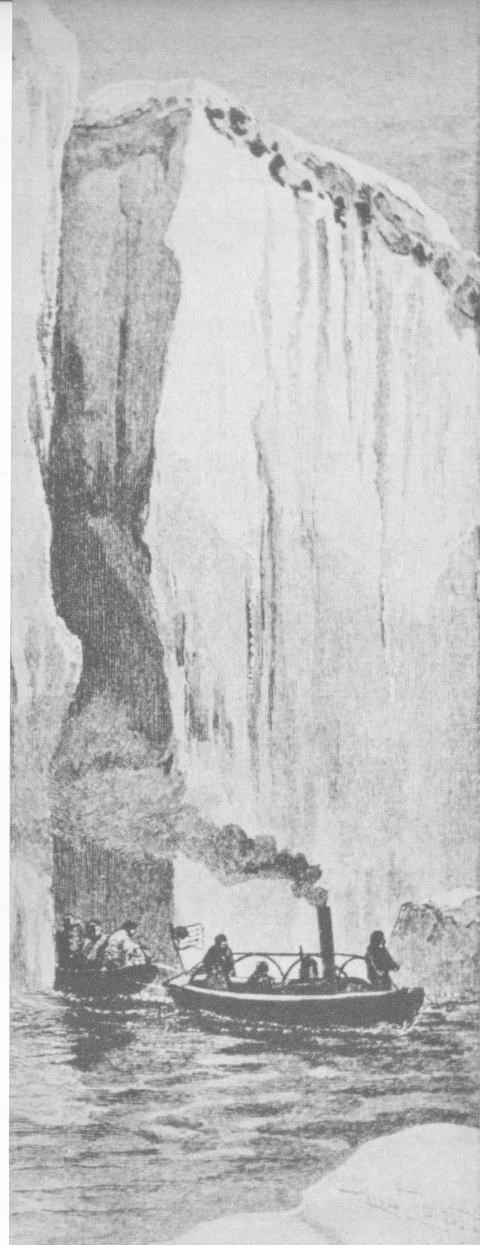
In het Zuidpoolgebied beperkte men zich in het Eerste Pooljaar tot slechts twee stations: een Duits in Zuid-Georgië en een Frans aan de Oranjebaai op Vuurland. Helaas was de dringende oproep die de Engelse hydrograaf Fontaine Maury al in 1860, dus 20 jaar nadat er, in 1840, bijna gelijktijdig drie expedities in Antarctica doorgedrongen waren, tot de wetenschappelijke wereld had gericht, weer vergeten: dat Antarctica, het Zuidpoolgebied, bij het poolonderzoek betrokken diende te worden. Dat de Duitsers een station op Zuid-Georgië oprichtten was uitsluitend het werk van de leider van het Duitse zeeobservatorium in Hamburg, Georg von Neumayer.



4 · Ligging van Jan Mayen. Op dit onherbergzame, moeilijk toegankelijke vulkanische eiland (372 km²) werd het observatorium van de Oostenrijkse expeditie tijdens het Eerste Pooljaar 1882—'83 gevestigd. Het ligt 1000 km van Tromsö in Noorwegen, 540 km van Spitsbergen en 465 km van Groenland. Op dit ‹nevelland› beleefden de Oostenrijkers gedurende hun verblijf slechts zeven heldere dagen. Dadelijk na hun aankomst herdachten zij plechtig de zeven Nederlanders, die 250 jaar voor hen een dergelijk onderzoek met hun leven hadden moeten betalen.

In 1633 hadden de ‹Gecommitteerden tot de Groenlandsche Visscherij› te Amsterdam hen onder schipper Outgert Jacobsz. naar ‹Groenland› gestuurd. Men verstond toen onder ‹Groenland› alle land en zee binnen de poolcirkel. Zij moesten zo nauwkeurig mogelijke onderzoekingen doen naar de toestand van Groenland in de winter. Reeds acht maanden na hun aankomst waren allen gestorven aan scheurbuik, in april 1634. De laatste journaalhouder deed zijn plicht tot zijn dood: «den 30 dito, den windt als voren, klare sonneschijn weer.» En tussen haakjes voegde hij er, zich zakelijk verontschuldigend, aan toe: «Sterf.»

De Oostenrijkers op Jan Mayen konden niet vermoeden, dat hun Amerikaanse collega's tussen Groenland en Ellesmereland een zelfde katastrofe te gemoet gingen. *(Noot v. d. vert.: Dit en de jaartallen in de Duitse uitgave zijn onjuist. De volgende regel eindigt na ‹Die›, dat het begin van een zin als ‹Die nacht was de koude aenmerckelijck› was, maar door buitenlanders voor het Engelse woord ‹sterven› gehouden is.)*



5 · De terugtocht van de expeditie naar Grinnell-land in het eerste Pooljaar (prent uit die tijd). Van alle stations lag het Amerikaanse aan de Lady-Franklinbaai het dichtst bij de pool. De expeditie, 25 man sterk, bereikte de voorgenomen positie en moest in de zomer van 1882 afgelost worden, daar zij al in 1881 uitgezonden was. Het aflossingsschip en het tweede bevoorradingsschip bleven uit. In augustus 1883 begonnen de Amerikanen met een stoombarkas en drie boten op sleeptouw hun terugtocht. Hoe avontuurlijk die was, toont de afbeelding van een doorvaart door een gespleten ijsberg. Reeds na 17 dagen waren de barkas en een van de boten ingevroren. Op drijfijs en over land zwervend trok de expeditie haar ondergang tegemoet. ◁

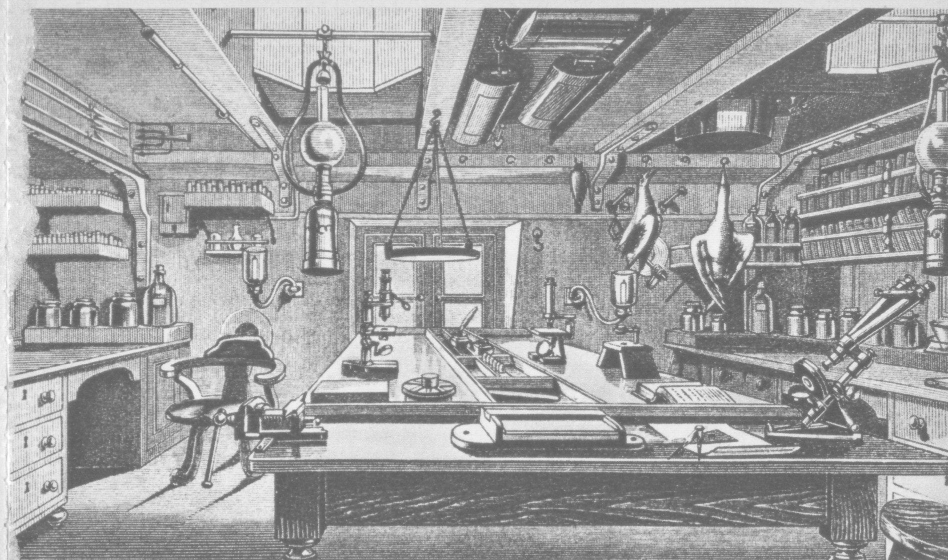
6 · De Schotse walvisvaarder ‹Thetis› redde ondanks hoge zee en zware ijsgang zeven overlevenden van de 25 Amerikanen, die uitgetrokken waren om, van de Lady-Franklinbaai uit, de wetenschap der mensen te vermeerderen.
Achter de levenden stonden onvergetelijk de doden: verhongerd, bevroren, verdronken, wegens diefstal doodgeschoten. Tegen de zwakken staken de sterken en onzelfzuchtigen af: de expeditieleider GREELY, de fotograaf RICE, korporaal ELISON en tenslotte BRAINARD, die in alle noden klaar stond om te helpen. Zijn vaak herhaalde onwrikbare woorden «Sir, we maken ervan wat we kunnen» zijn als gevleugelde woorden tot de geschiedenis van de pooltochten gaan behoren. ▷

Het Tweede Pooljaar 1932—'33. Het was weer aan een geleerde, JOHANN GEORGII van de Deutsche Seewarte in Hamburg, te danken dat er 50 jaar na het Eerste Pooljaar een nieuw en uitgebreid wereldplan verwezenlijkt kon worden. In het begin van de 20e eeuw had de geofysica, die de natuurkundige toestanden en verschijnselen binnen in de aarde, in de zeeën en in de dampkring onderzoekt, haar werkmethoden ontwikkeld. Op de basis van inzichten en resultaten van de theoretische en experimentele natuurkunde ontwikkelde zij zich tot een zelfstandige wetenschap. Haar speciale gebieden waren de bepaling van de gestalte en afmetingen der aarde, aardbevingsleer, meteorologie, aardmagnetisme, oceanografie, vulkanisme en het onderzoek van het water op en onder de oppervlakte van de aarde: de aard der onderwerpen alleen al dwong tot internationale samenwerking. Om de verbreiding en de van plaats en tijd afhankelijke variaties te leren kennen, moesten op vele, doelmatig verdeelde stations geregeld en gelijktijdig waarnemingen worden verricht.

Bij de voorbereiding van het Tweede Pooljaar door 49 landen werden de stations over de hele aardbol verdeeld, voor zover de krappe middelen toelieten. Financiële malaise en politieke spanningen verhinderden dat het omvangrijke materiaal volledig en door samenwerking tot zijn recht kwam. Het Tweede Pooljaar herinnerde alleen door zijn naam aan het eerste. Het was in werkelijkheid een echt internationaal geofysisch jaar, voorbode van wat 25 jaar later in grote stijl en met inzet van de modernste technische hulpmiddelen opnieuw zou plaatshebben.

De hoogtepunten van het IGY 1957—'58 bestonden uit de inzet van kunstsatellieten, raketten en ruimtesonden, en in de exploratie van Antarctis. Er was voor dat jaar een periode van sterke zonneactiviteit voorspeld: veel zonnevlekken, zonneërupties, zonnestormen. De zonneactiviteit werd inderdaad sterker dan in de voorafgegane twee eeuwen ooit was waargenomen. Dit verschafte de geleerden een unieke kans om hun kennis van de fysica der hoge lagen van de atmosfeer te vergroten. Door satellieten en ruimtesonden werden bovendien kosmische stralen opgevangen, waardoor men een beeld kreeg van de electrisch geleidende lagen op grote hoogte, de ionosfeer. Er werden drie stralingsgordels van electrisch geladen deeltjes ontdekt, protonen en electronen in grote concentratie, die de aarde op verschillende hoogten omgeven, door haar magnetische veld vastgehouden.

PICCARD en WALSH bereikten met hun diepteschip de zeebodem op een diepte van 11.000 meter en zagen daar nog levende wezens. De ontdekking van een over de hele aarde lopend systeem van diepzeetroggen schijnt er voor te pleiten, dat de aarde zich uitzet en haar korst doet scheuren. Tot dus ver onbekende reusachtige onderzeese gebergten werden ontdekt in de Stille Zuidzee en de Atlantische oceaan. Als een voortzetting van de onderzoekingen van de structuur en dynamiek van de aardkorst in het IGY kan ook de Amerikaanse proefboring in de diepzee in 1961 beschouwd worden. Dit gebeurt in het kader van een plan om door de aardkorst heen tot aan de aardmantel te boren, om de structuur van de aardbol te doorgronden.



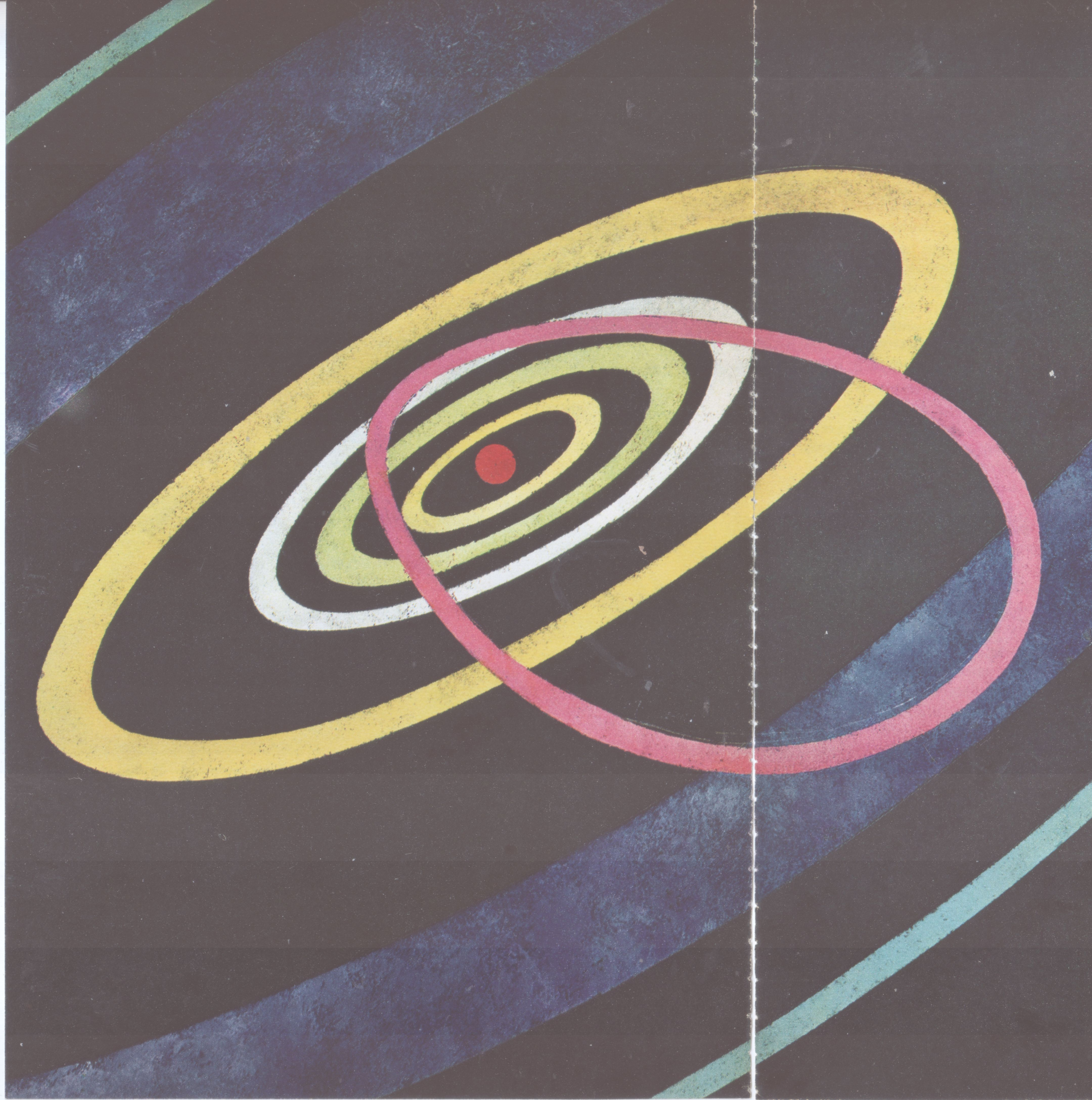
7 · Het biologische laboratorium aan boord van het Engelse onderzoekersschip ‹Challenger›. In 1872—'76 werkten op deze korvet geologen, zoölogen, scheikundigen en botanici onder leiding van de bioloog Sir WYVILLE THOMSON op drie wereldzeeën; ze stelden in de Marianentrog een diepte van 8.164 meter vast en doorspeurden in 1874 de Antarctische wateren. In deze kajuit werden de baanbrekende gegevens verzameld die de moderne oceanografie grondvestten. Hier werden de waarnemingen bijeengebracht die pas na 19 jaar voldoende verwerkt waren om de beslissende betekenis van deze diepzeeëxpeditie te doen inzien. Pas na het succes van de Challenger kon MAURY de wetenschappelijke wereld er van overtuigen dat een van de belangrijkste dingen voor het onderzoek van de aarde het onderzoek van Antarctica was. Dat dit bewijs nodig was is des te vreemder, omdat DUMONT D'URVILLE, WILKES en ROSS al in 1840 expedities in het Zuidpoolgebied hadden ondernomen. Zelfs het Eerste Pooljaar heeft Antarctica nog stiefmoederlijk behandeld.

Dit inzicht van Maury leidde via de plannen tot internationale samenwerking in de Antarctische wateren en via het Tweede Pooljaar 1932—'33 indirect tot het Antarctische programma van het IGY waaraan elf landen deelnamen. Er werden vijftig wetenschappelijke observatieposten ingericht; ze verrichtten in 1957—'59 onderzoekingen, vele er van hebben hun werkzaamheden nog nadien voortgezet. De inrichting van de 8 niet aan zee gelegen posten vereiste de inzet van alle ter beschikking staande moderne technische middelen onder de moeilijkste omstandigheden.



8 · Kaart van de breedte- en lengtezones, waar tussen 1 juli 1957 en 13 december 1958 de 2.000 hoofdwaarnemingsposten van het IGY gevestigd waren. Ze hadden tot taak, met korte tussenpozen metingen en waarnemingen te doen op de volgende gebieden: meteorologie, aardmagnetisme, poollicht, lichtende wolken, ionosfeer, zonneactiviteit, kosmische straling, geografische lengten en breedten, gletsjerkunde, oceanografie, satellieten en ruimtesonden, seismologie, gravimetrie, radioactiviteit. Er konden ten dele bestaande meetstations gebruikt en vergroot worden, maar er moesten ook nieuwe ingericht worden om de doelmatigste verdeling over de hele aarde te krijgen.
Acht uitgekozen gebieden moesten zo dicht mogelijk bezet worden: Arctica, Antarctica (boven 60° Br.), de equatorzone (tot 23° N. en ZBr.) en 5 meridianen (20, 70—80, 110 en 140° OL. en 70—80° WL.). De meetresultaten van 60 000 geleerden uit 66 landen kwamen in drie wereldcentra binnen: een in de USA, een in Moskou en — in verscheidene afdelingen gesplitst — een in Europa.

Een aantal waarnemingen leverde onmiddellijk nieuwe kennis, maar de meeste metingsresultaten wachten nog op wetenschappelijke verwerking. Op het IGY volgde, met gebruikmaking van zijn uitrusting en met een iets beperkt programma de Internationale Geofysische Coöperatie 1959; voor 1964—'65 — het eerstvolgende zonnevlekkenminimum — staat het ‹Jaar van de rustige zon› op het programma.

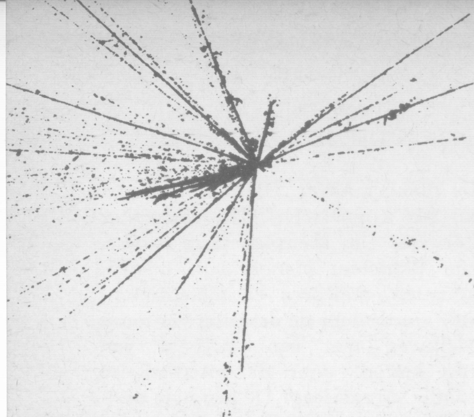


II

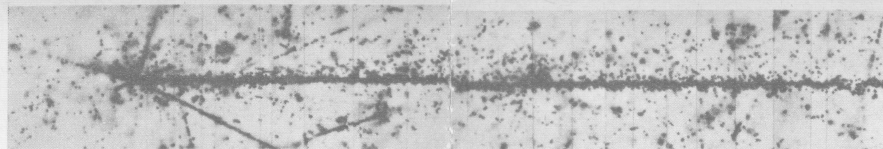
SEINEN EN MATERIE UIT HET HEELAL

De planeet Aarde. De aarde behoort tot het zonnestelsel. De vaste ster Zon met zijn interplanetaire ruimte, zijn planeten, planetoïden, manen, kometen, meteoren en meteorietenstof wordt door de draaiing van onze Melkweg met een snelheid van 200 km/sec door de interstellaire ruimte meegesleept. De grootste middellijn van de Melkweg is 100.000 lichtjaren lang en de dichtstbijzijnde andere melkweg, de Andromedanevel, is meer dan 2 miljoen lichtjaren van ons verwijderd. Een lichtjaar beslaat een afstand van meer dan 9.5 biljoen km. Maar met deze getallen meten wij nog slechts de ‹oneindigheden› van onze onmiddellijke kosmische omgeving. Behalve seinen en materie uit de interplanetaire ruimte ontvangt de aarde stralen uit nog verderaf gelegen gebieden van de wereldruimte. Vangen wij vreemde, op aarde niet voorkomende stralen en elementen op, of is de aarde opgebouwd uit kosmische materie, die wat aard en verdeling betreft overal eender is? Deze vraag is alleen te beantwoorden als men de kosmische straling, de meteorieten en de lichtstralen opvangt en onderzoekt, hun herkomst vaststelt, en hun frequentie, verdeling en soort met de aardse stoffen vergelijkt.

9 · De aarde in de interplanetaire ruimte. Zon: rood, baan Mercurius: lichtgeel, Venus: groen, Aarde: wit, Mars: donkergeel, kleine planeten: violet, Jupiter: blauw, meteorietenregen van Sichotka Alin (Oost-Rusland): lichtrood.



◁ 10



12 ▽

Kosmische straling. Partikels met zeer grote energielading vallen in een ononderbroken stroom uit de wereldruimte de aardse dampkring binnen. Het zijn overwegend protonen (waterstofkernen), 10% zijn heliumkernen en 1% zwaardere atoomkernen. De kernen zijn electrisch positief; de tot een compleet atoom behorende electrisch negatieve electronenmantel ontbreekt. De relatieve frequentie van de verschillende atoomkernen vertoont enige kenmerkende afwijkingen van de met andere methoden geconcludeerde kosmische frequentie der elementen, o. a. een zeer hoog ijzer- en nikkelgehalte. Dus is de kosmische straling vermoedelijk bij gigantische sterexplosies ontstaan.

Verstrooid en ook weer bijeengehouden door magnetische velden, vliegen de deeltjes in alle richtingen door onze melkweg, praktisch met lichtsnelheid en enorm doordringingsvermogen. De direct uit de wereldruimte invallende stralen, de ‹primaire straling›, splijten bij botsing met de moleculen en atomen van de dampkring de atoomkernen, en de bouwstenen daarvan vernietigen door hun grote snelheid weer andere atoomkernen. Daardoor wordt de aarde door de kosmische straling nog slechts indirect getroffen, de ‹secundaire straling›.

10 · Een deeltje van de kosmische straling doet een zware atoomkern in vele kleine deeltjes uiteenspringen.

◁ 11

11 · Om de primaire straling te onderzoeken brengt men een blok fotografische emulsies op 35 km hoogte. De doordringende deeltjes brengen in de emulsie veranderingen te weeg, die na de ontwikkeling als baansporen zichtbaar zijn. Aan die sporen kan men de electrische lading en daardoor de soort atoomkern (het element) bepalen.

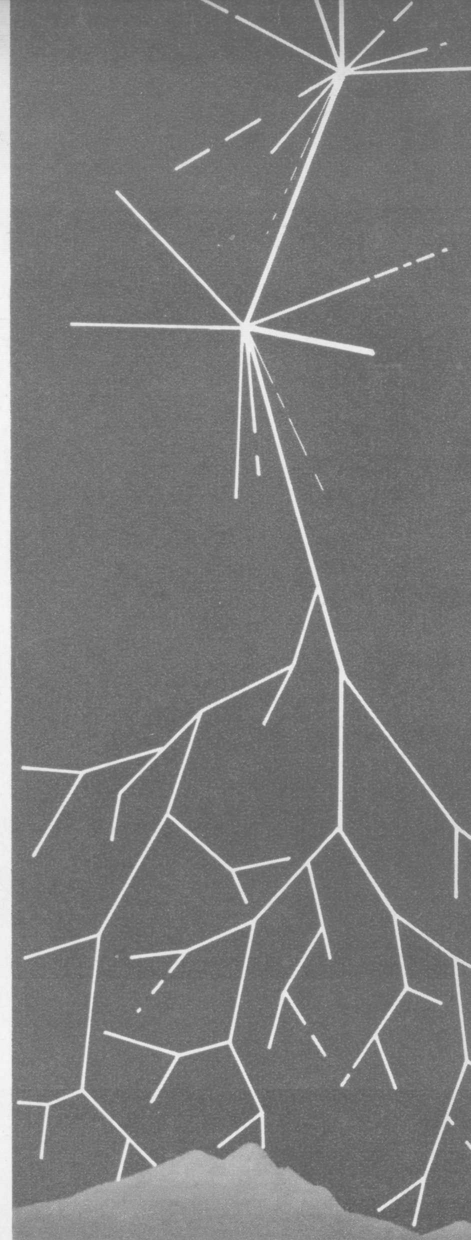
De afb. toont de sporen van silicium, calcium, titanium en ijzer. Hoe sterker de kernlading, des te dikker en vezelachtiger wordt het spoor. De lengte ervan hangt af van de energie van de deeltjes.

12 · Door een primair deeltje getroffen, springt een zware kern in het emulsiepakket in ongeveer 180 secundaire deeltjes uiteen. Die hebben op hun weg door de emulsie weer andere atoomkernen geraakt, wat tenslotte een straal van 100.000 deeltjes oplevert.

13 · Vereenvoudigd schema van de gebeurtenissen na het invallen van een primair deeltje in de atmosfeer. Het grootste deel van de energie wordt verbruikt in de secundaire processen.

Slechts 4% van de energie bereikt als aanwijsbare deeltjes het zeeniveau. Enkele secundaire deeltjes dringen tot 3.000 m diep in zee door.

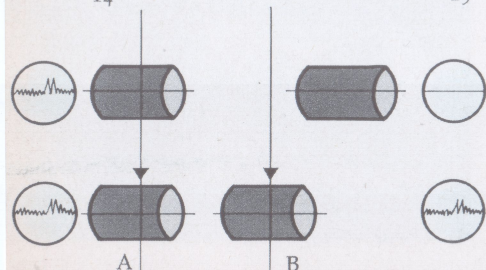
13 ▷

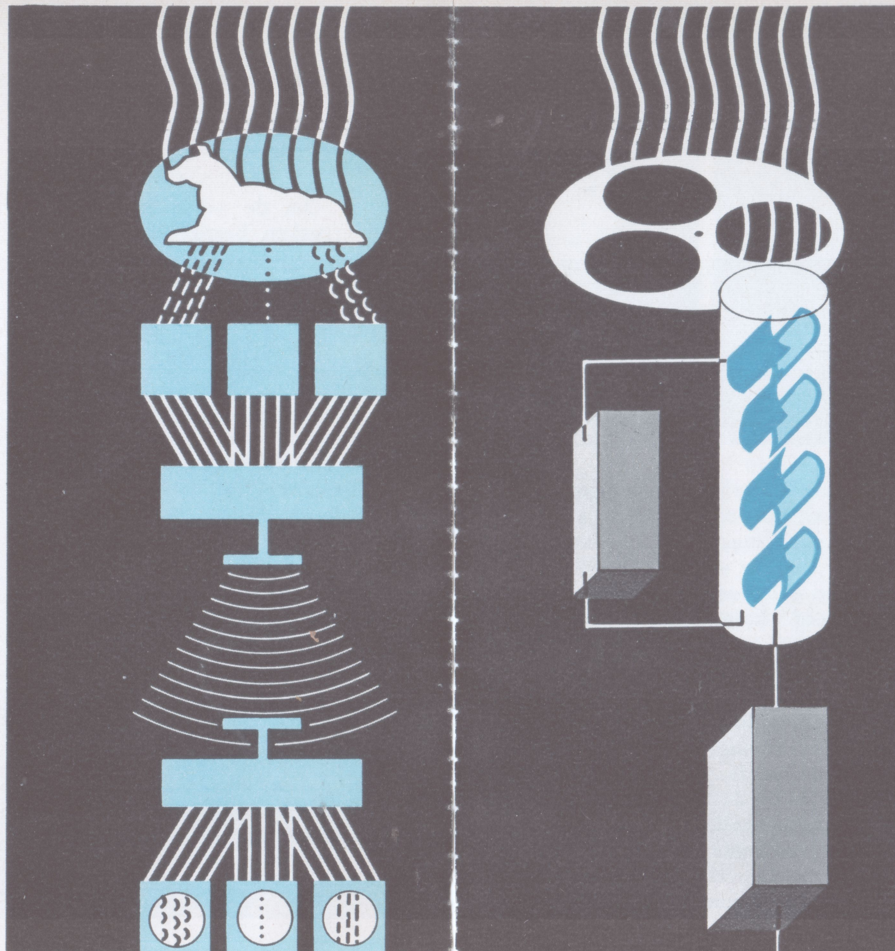


14 · De atoomkernen hebben een grootte van een paar biljoenste mm en zijn optisch niet te achterhalen. Maar moderne instrumenten verraden ons hun bestaan. Een passerend deeltje laat in een nevelkamer van Wilson een nevelstreep achter. Deze vormt zich aan de condensatiekernen, die het deeltje in de met verzadigde waterdamp gevulde camera doet ontstaan.

Een ander apparaat voor het registreren van kosmische deeltjes is de telbuis van Geiger-Müller, korter Geigerteller.
Die bestaat uit een met gas gevulde metalen cilinder, in de as waarvan zich een dunne draad bevindt. Tussen draad en buiswand bestaat een electrische spanning. Als een deeltje de buis passeert, wordt het gas geïoniseerd (dus geleidend) en er heeft een electrische ontlading plaats tussen draad en buis. Deze electrische impuls wordt versterkt en door een telwerk geregistreerd.

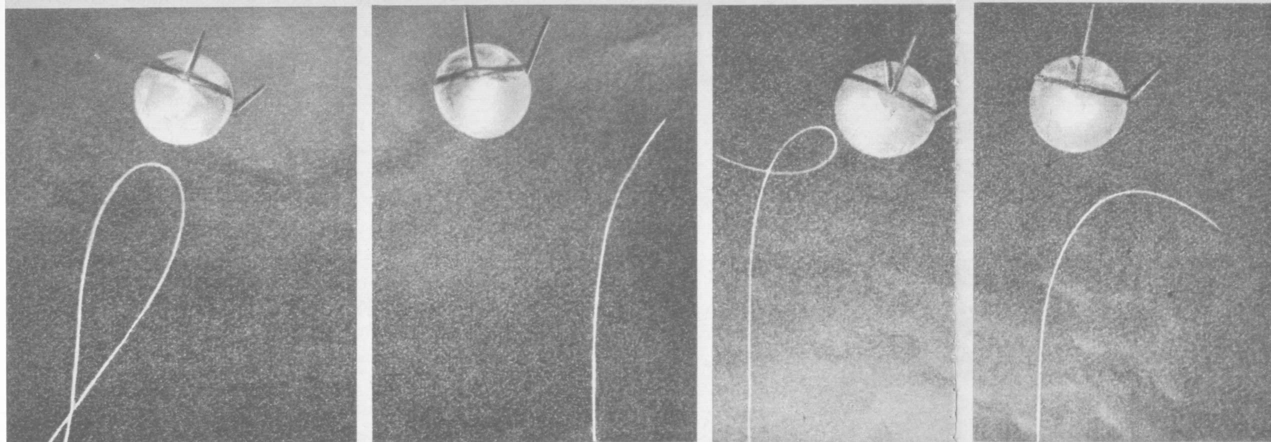
De richting van inval der deeltjes kan bepaald worden door twee of meer telbuizen te combineren. Als de twee buizen boven elkaar gerangschikt zijn (rangschikking A, links), zal een loodrecht invallend deeltje beide tellers doordringen en in beide tegelijk een impuls geven. Scheef invallende deeltjes zullen daarentegen ten hoogste een van beide doen reageren. Omgekeerd zal bij scheve rangschikking der buizen (B) een loodrecht invallend deeltje slechts een ervan treffen. De buizen zijn zo geschakeld, dat er alleen geteld wordt als er van beide een impuls komt, dus worden alleen de deeltjes geregistreerd die uit een bepaalde richting komen (telbuistelescoop).

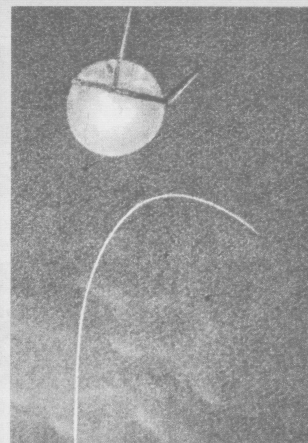




15 · Om het gedrag van een levend wezen in wereldruimtelijke omstandigheden te leren kennen, werd op 3 november 1957 de eskimohond Laika in Spoetnik II in een tot 1.620 km hoog reikende baan om de aarde gebracht. Zij werd een week lang door zuurstof en voedsel in leven gehouden. 9 november stierf zij, 10 november werd het laatste radiosein van de satelliet opgevangen. Hij cirkelde nog tot 14 april 1958, in 't geheel 162 dagen, om de aarde. Het instrumentarium van de satelliet was een in de kleinst mogelijke ruimte samengedrongen natuurkundig laboratorium, dat de toestand van het dier — ademfrequentie, hartslag, bloeddruk — en de fysische toestand binnen en buiten de satelliet registreerde (links). De twee schematische tekeningen tonen de werkwijze van de meetapparaturen. De resultaten werden via impulsomzetters naar de zender van de satelliet geleid en volgens een bepaalde code uitgezonden. De ontvanger op de grond scheidde de binnenkomende impulsen weer en verdeelde ze over drie afzonderlijke registreertoestellen.

De afbeelding rechts toont het schema van de talrijke fysische meetapparaten; een instrument voor het meten van de zonnestraling in drie golfgebieden. Voor een electronenmultiplicator bevindt zich een schijf met drie stralingsfilters. De automatisch draaiende schijf laat de stralen van de drie gebieden snel na elkaar door naar de multiplicator, de invallende energie wordt versterkt, de meetwaarden via de zendinstallatie aan de op de grond opgestelde registreerapparaten doorgegeven.

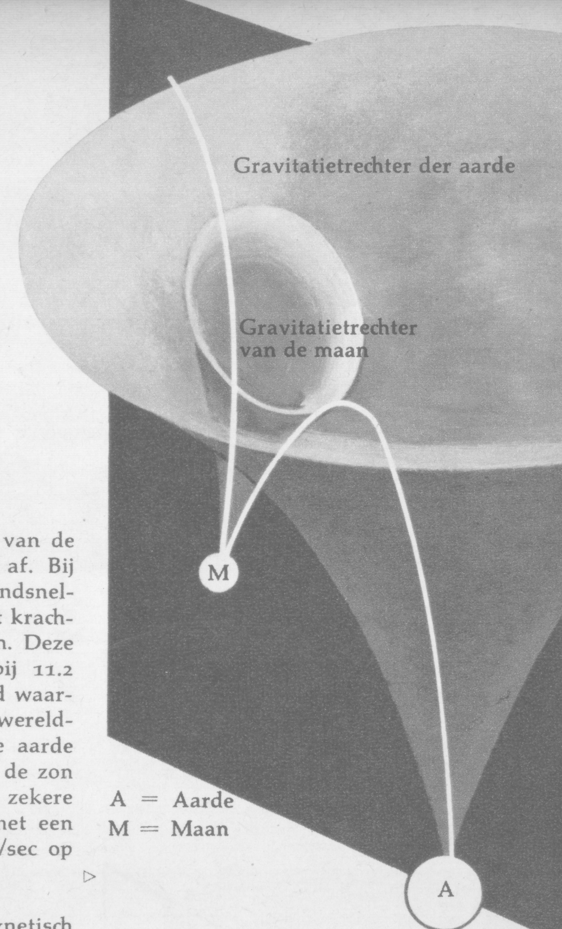




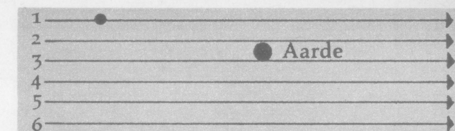
16—19 · Al naar gelang van de richting, van waar uit ze het aardmagnetische veld bereiken, beschrijven electrisch geladen deeltjes lusvormige banen, ze kunnen zich als 't ware ‹oprollen›, maar ook al op grote afstand afgeleid worden en voorbijvliegen.

Zwaartekracht en aardmagnetisme. Newton vond de wet der aantrekking die twee massa's op elkaar uitoefenen: de gravitatiewet. Hij gaat op voor atomen, electronen, stofpartikeltjes, kometen, meteoren, planeten en vaste sterren. De gravitatiewet beheerst dus ook de hemellichamen. De massa van de zon overtreft de gezamenlijke massa van haar planeten 740-maal. Daardoor moeten de ‹dwaalsterren› hun banen om de vaste ster Zon beschrijven. Maar in de kleine ruimte van hun eigen invloedsfeer is de aantrekkingskracht van hun massa groter dan die van de zon. De aantrekkingskracht van de aarde reikt honderdduizenden km in de interplanetaire ruimte. Binnen een gebied van 250.000 km om de aarde is de aantrekkingskracht van de zon zwakker dan die van de planeet. De baan van een hemellichaam, dat in dit gebied komt, wordt erdoor gewijzigd.

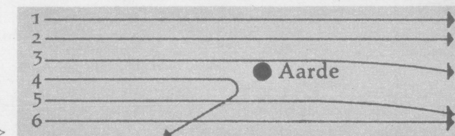
De aarde is bovendien een grote magneet. De invloeden van haar magnetische veld reiken tot op een afstand van 100.000 km van het middelpunt der aarde. Electrisch geladen deeltjes, die uit de kosmos of van de zon af binnenvallen, krijgen daardoor ingewikkelde afwijkingen uit hun baan. De Duitse fysicus E. Brüche en de Noorse poollichtonderzoeker Störmer hebben tientallen jaren geleden in een laboratorium aan een aardmodel de van de zon afkomstige corpusculaire straling in het magnetische veld van de aarde nagebootst en wiskundig onderzocht. Hun resultaten zijn tijdens het IGY door satellieten en ruimtesonden bevestigd en uitgebreid. Afbeelding 16 tot 21 betreffen modeldemonstraties van Brüche.

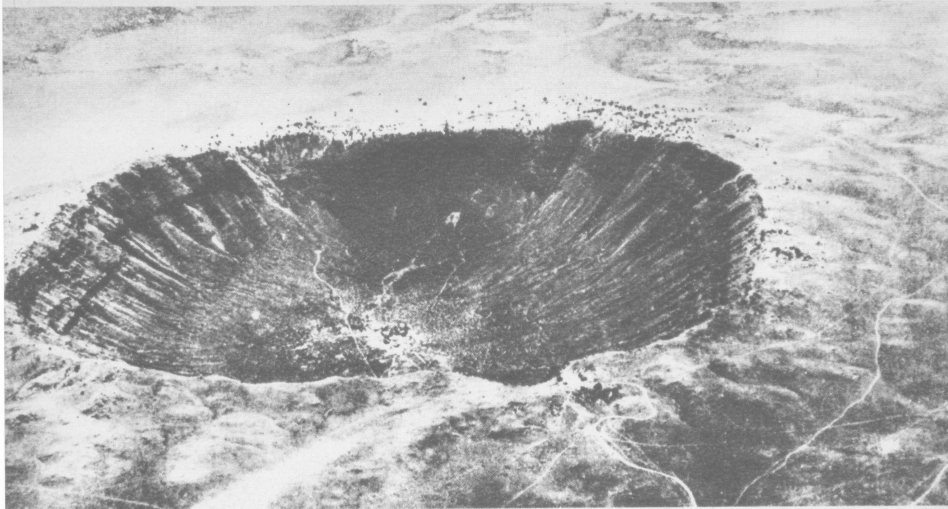


20 · De aantrekkingskracht van de aarde neemt met de hoogte af. Bij een bepaalde, berekenbare eindsnelheid kunnen raketten b. v. het krachtenveld van de aarde verlaten. Deze ‹ontsnappingssnelheid› ligt bij 11.2 km/sec. Dit is ook de snelheid waarmee een lichaam dat zich in de wereldruimte in rust beyond op de aarde zou vallen. Maar daar de om de zon lopende meteorieten al een zekere snelheid hebben, botsen ze met een snelheid van ongeveer 50 km/sec op de aarde. ▷



21 · Als de aarde niet magnetisch was, zouden de van de zon afkomstige electrisch geladen deeltjes voorbijschieten zonder enige invloed te ondergaan. Maar het magnetische veld van de aarde trekt de electronen uit hun baan en wel te sterker naarmate ze dichterbij komen. In het equatorvlak komen ze in een stabiele omloopsbaan, wanneer de centrifugale kracht van de aarde en de afwijking veroorzakende kracht in het magnetische veld even groot zijn. ▷

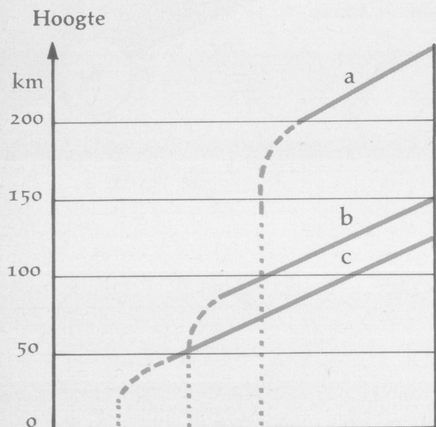




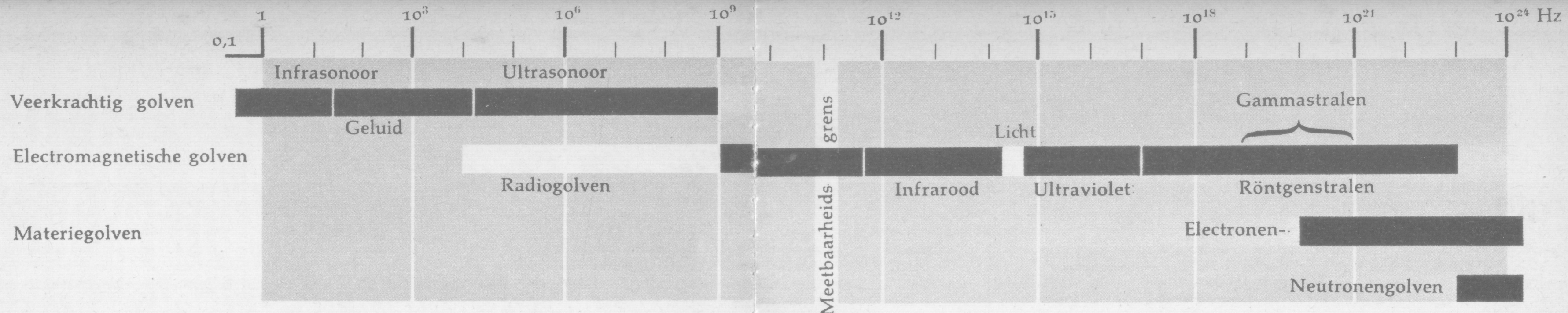
22 · Ongeveer 50.000 jaar geleden sloeg er een reusachtige meteoriet neer in de prairie van Arizona (USA) en maakte een krater die oorspronkelijk 377 m diep was. Tegenwoordig is hij tot op 180 m opgevuld. Hij heeft een middellijn van 1.265 m.

23 · Atmosferische banen van drie verschillende soorten meteorieten: a = meteorietenstof; b = meteorieten ter grootte van mm (vallende sterren); c = meteorietbrokken ter grootte van meters (vuurkogels).

▽



24 · De grote meteorietenregen van 13 november 1833, een zwerm kosmische stofdeeltjes die in de dampkring vergloeiden (houtsnede uit die tijd).
Boven Madrid kwam 10 februari 1896 een in kleine stukjes uiteengevallen meteoriet als ‹stenenregen› naar beneden. ▷

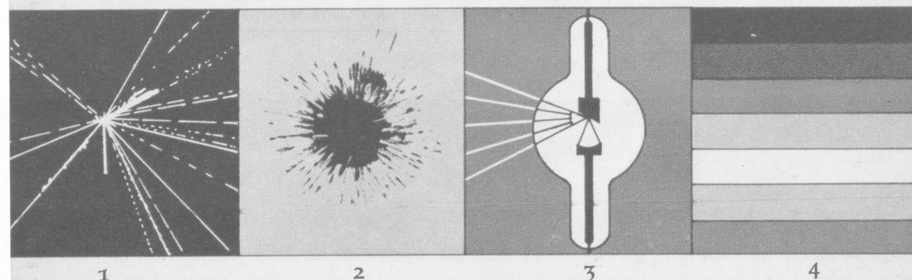


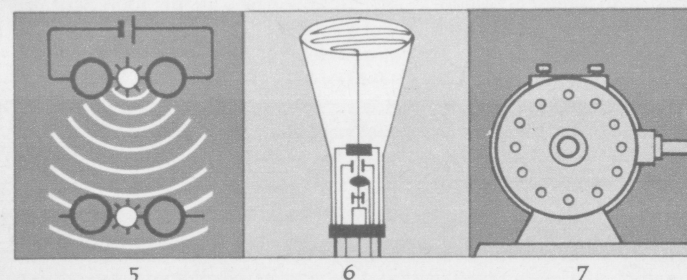
Meteorieten. De meteorieten zijn de enige lichamen van buitenaardse oorsprong, die chemisch onderzocht kunnen worden. Vele duizenden tonnen meteoritisch materiaal treft dagelijks de aarde. De meeste meteorieten zijn nietige korreltjes, die als vallende sterren in de dampkring in rook en licht opgaan. Alleen de grootste bereiken als vuurbollen diepere luchtlagen; heel zelden — tot dusver 650 maal — worden er resten van meteorieten gevonden. De herkomst van meteorieten kan uit hun baan en snelheid afgeleid worden. Waarschijnlijk zijn ze allemaal afkomstig uit het zonnestelsel; de meeste behoren tot verschillende, regelmatig terugkerende meteorenzwermen, die van een vergane komeet afkomstig zijn. Naar de samenstelling onderscheidt men ijzer-, steen-, en glasmeteorieten. De chemische onderzoekingen bewijzen, dat ze geen elementen bevatten die niet op aarde voorkomen; aan de andere kant zijn ook bijna alle bekende elementen erin aangetroffen. Daar de lichte elementen grotendeels verdampt zijn, verkrijgen wij zo geen nauwkeurig beeld van de frequentie der elementen in de hemellichamen.

Daarentegen kan met behulp van de spectraalanalyse de samenstelling van ver verwijderde sterren betrouwbaar worden vastgesteld. Met een apparaat wordt het licht volgens de golflengte in zijn spectrum ontleed, een van violet tot rood reikende band. Rood is het einde met lange golven, violet dat met korte. Over dit ‹continuum› liggen op bepaalde plaatsen, die met bepaalde golflengten correleren, donkere of lichte lijnen, veroorzaakt door chemische stoffen in of voor de lichtbron. Ieder element verwekt karakteristieke lijnencombinaties, b. v. waterstof een lijn in het rode, een in het blauwe en een in het violette deel, natrium twee dikke lijnen in het gele deel van het spectrum. Het optreden van een lijn bij een zeer bepaalde golflengte betekent dat er een bepaald element aanwezig is.
Uit de dikte der lijnen kan zowel de relatieve samenstelling van de atmosferen van vaste sterren en planeten, en van de interstellaire materie bepaald worden als die van meteorieten en aardse mineralen. Daardoor is de spectraalanalyse de universeelste methode voor het vaststellen van de verdeling en frequentie der elementen in de kosmos.

25 · Hier zijn de verschillende soorten golven volgens hun trillingsgetal opgesteld. De eenheid van 1 trilling per seconde wordt 1 Hertz (Hz) genoemd. Als men de golflengte (afstand van knoop tot knoop) met het trillingsgetal per sec. (frequentie) vermenigvuldigt, krijgt men de voortplantingssnelheid van een golf. Alle electromagnetische golven hebben in het luchtledig dezelfde snelheid, nl. die van het licht: 300.000 km/sec. Ze verschillen alleen in frequentie en golflengte.

26 · Bronnen van electromagnetische golven. Van links naar rechts: 1 kosmische stralen; 2 gammastralen; 3 röntgenstralen; 4 ultraviolet, zichtbaar en infrarood licht; 5 electrische vonken; 6 radiogolven; 7 wisselstroomgenerator.


1 2 3 4


5 6 7

Frequentie van de voornaamste elementen in de kosmos (steratmosferen, planetaire nevels en interstellaire stof). Volgens H. H. Voigt:

Atoom-gewicht	Element	atomen Aantal atomen per 1 miljoen	Aantal grammen per ton
1	waterstof	839.000	556.000
2	helium	159.000	421.000
8	zuurstof	680	7.210
10	neon	640	8.550
7	stikstof	200	1.860
6	koolstof	130	1.030
26	ijzer	64	2.370
12	magnesium	42	680
14	silicium	35	660
16	zwavel	12	250
28	nikkel	5	200
13	aluminium	3	54
11	natrium	3	46
20	calcium	2	53

Frequentie der elementen in het heelal. Chemische elementen zijn stoffen die door chemische processen niet verder ontleed kunnen worden. De kleinste deeltjes ervan zijn de atomen.

Zoals uit de tabellen blijkt, zijn waterstof en helium van de grootste betekenis voor de bouw van het heelal. Samen vormen ze 99% van de kosmische materie.
De meteorieten zijn eender samengesteld als de eruptieve gesteenten op aarde.
Acht chemische elementen maken samen 98.5% van het gewicht van de buitenste aardkorst uit. Als men de ruimte berekent die de afzonderlijke elementen in de lithosfeer (aardkorst) innemen, dan komt zuurstof op de eerste plaats (94%).
De frequentie der elementen in het heelal neemt met de stijging van hun atoomgewicht af. Deze wet hangt samen met het ontstaan van de elementen in de kosmos, met een trapsgewijze opbouw van de elementen door kernfysische processen. «Men begint tegenwoordig die wetmatigheden te begrijpen. Ze berusten daarop, dat de atoomkernen in de loop van de ontwikkeling der sterren uit het grondelement waterstof opgebouwd worden.» (R. Brinkmann)

Het periodiek systeem der elementen met zijn trapsgewijze ordening toont deze ontwikkeling.

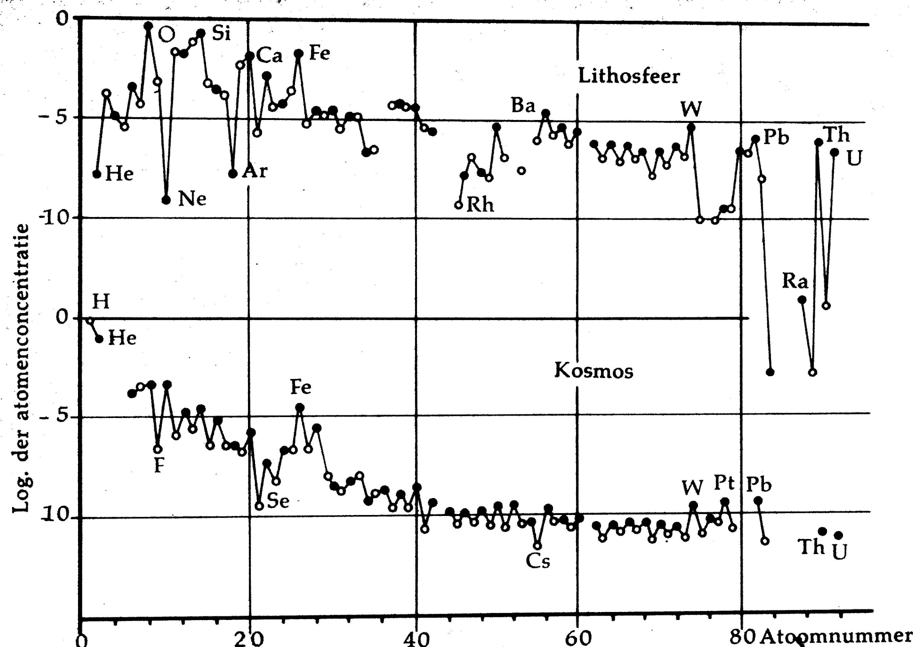
Chemische analyse van de meteorit Murray, gevallen in Kentucky in 1950:

koolstof	2.07 %	silicium	15.8 %
waterstof	0.90 %	aluminium	1.0 %
stikstof	0.08 %	borium	0.3 %
zwavel	0.375%	calcium	0.5 %
fosfor	0.02 %	koper	0.5 %
sulfaten (anorg.)	5.72 %	chroom	0.5 %
ijzer	24.00 %	mangaan	0.5 %
magnesium	10.10 %	nikkel	1.0 %

Samenstelling van de meteorieten: steenmeteorieten: silicaten; ijzermeteorieten: kristallijne legeringen van ijzer met 8% nikkel (volgens R. Brinkmann).

Frequentie der elementen in de voor ons toegankelijke aardkorst, de lithosfeer (volgens R. Brinkmann):

	atoom-%	gewichts-%	
zuurstof	62.5	46.6	tienden%: Ti, P, F, H
silicium	21.1	27.7	honderdsten%: Ba, C, S, Sr, Cl, V, Zn
aluminium	6.4	8.1	
ijzer	1.9	5.0	duizendsten%: Ni, Cu, N, Pb, B
calcium	1.9	3.6	tienduizendsten%: Sn, Br, U, As
natrium	2.6	2.8	honderd-duizendsten%: Hg, Ag
kalium	0.9	2.6	een miljoensten%: Au, Pt
magnesium	1.8	2.1	



Het periodiek systeem. Het begint met de lichte waterstof, die het atoomgewicht 1 heeft. Het waterstofatoom heeft maar één proton, d. w. z. maar één positief geladen deeltje als kern, en daardoor wordt ook het laagste atoomgewicht bepaald. Helium bevat twee protonen en twee neutronen, dus twee deeltjes zonder lading; koolstof heeft zes, zuurstof acht protonen.

De tabel van de elementen omvat 92 natuurlijke atomen tot en met het zware uranium, waarvan de atoomkern 92 protonen bevat. Om de atoomkern draaien op verschillende afstanden negatief geladen electronen, een electron per kernproton. De electronen hebben een massa van $^1/_{2000}$ van een protonenmassa.

27 · De aardse en kosmische frequentie der elementen (volgens R. Brinkmann, V. M. Goldschmidt, K. Rankama en H. Brown). Deze grafische voorstelling toont aan, dat de verdeling der chemische elementen in de kosmos en hun verdeling op aarde in hoge mate overeenkomen. Al is het waarnemingsmateriaal in verhouding tot de grootte en rijkdom van het heelal ook oneindig klein, toch kan men zeggen dat de elementen volgens een algemene wetmatigheid in het heelal verdeeld zijn. Ook op aarde geldt deze voor de kosmos geldende orde. Alle sterren en planeten, het interstellaire gas en het kosmische stof zijn uit dezelfde oerstof ontstaan, zij het ook in verschillende opvolgingen van generaties.

III

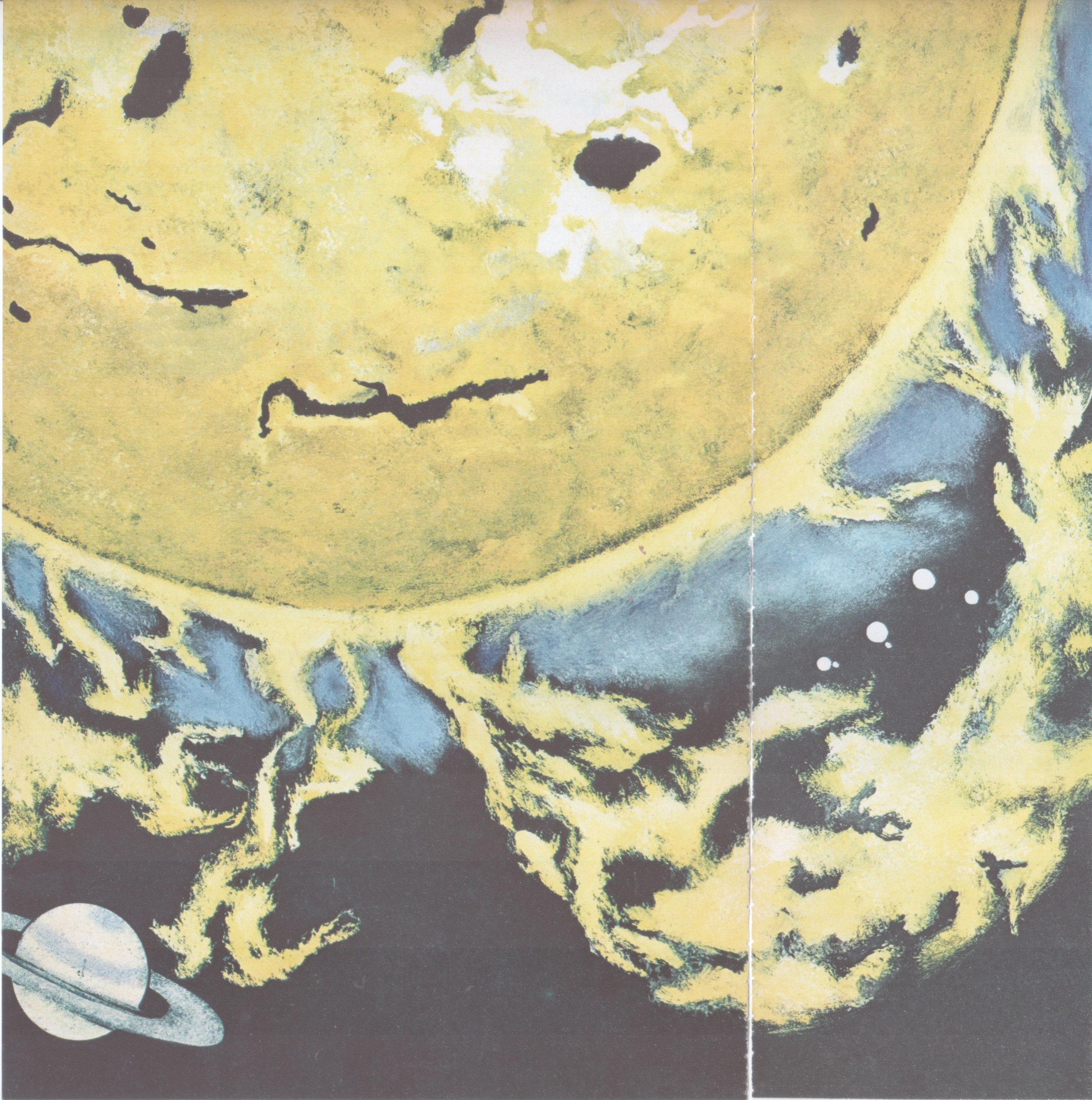
DE STER ZON

Aarde en zon. De aarde is door de zon geschapen en blijft voortdurend van haar afhankelijk. Zij is gedwongen, steeds om de zon heen te cirkelen. De stralingen die de zon uitzendt, vooral de licht- en warmtestraling die alleen (afgezien van de in dit opzicht neutrale radiogolven) tot in de laagste luchtlagen en tot de aardbodem doordringen, houden het aardse leven in stand en veroorzaken de meest uiteenlopende fysische veranderingen in de dampkring. De kortegolfstraling (ultraviolet en röntgen) van de zon en van atomaire deeltjes met groot doordringingsvermogen zijn schadelijk voor het leven; de luchtmantel beschermt ons er tegen door ze in de hoogste dampkringslagen op te vangen, waarbij hun energie wordt omgezet.

Maar beide groepen zijn de brengers van belangrijke berichten over de gebeurtenissen en toestanden op de zon en in de kosmos, die de waarnemer op de grond niet kan opvangen. Zelfs de door het kleine ‹optische venster› van de dampkring doorgelaten licht- en warmtestralen zijn verzwakt, vervalst, vervormd. Die storende invloed van de atmosfeer kon alleen met behulp van ballons, raketten, satellieten en ruimtesonden uitgeschakeld worden: ze brachten de nodige meetinstrumenten tot op grote hoogte.

De aarde behoort tot de naaste omgeving van de zon. Ondanks de afstand van 150 miljoen km is zij nog omgeven door de uitlopers van de zonneatmosfeer; de atmosfeer van de aarde en die van de zon gaan in elkaar over. Het licht heeft maar 8 minuten nodig om de aarde te bereiken, en de snelste weggeslingerde deeltjes maar amper tweemaal zoveel. Om de grenzen van het zonnestelsel te bereiken heeft het licht al $5^1/_2$ uur nodig. Tot aan de naaste buurman van de zon, de ster Proxima Centauri, heeft het licht 4.3 jaar nodig: hij is 4.3 lichtjaren = ongeveer 40 biljoen km ver weg. De afstand tot de andere sterren van het Melkwegsysteem, en vooral die tot andere Melkwegen, bedraagt een veelvoud hiervan. De grenzen van de ons vandaag bekende wereld liggen verscheidene miljarden lichtjaren ver.

De ver verwijderde Melkwegen zijn zelfs door onze grootste telescopen slechts als diffuse lichtvlekken te zien. Afzonderlijke sterren ervan kunnen wij alleen waarnemen als er een geweldige sterontploffing plaatsvindt en er een ‹supernova› verschijnt. Uiteengevouwen in miljarden sterren zien wij alleen de allernaaste buren van de Melkweg, waartoe ook de Andromedanevel behoort. Maar alle sterren, ook die van het Melkwegstelsel, blijven voor de aardse waarnemer altijd slechts lichtpunten. Hun afmeting kan alleen indirect bepaald worden. De enige vaste ster die zich als een ruimtelijk lichaam aan de mens vertoont, is de zon. Op haar kunnen we met onze verrekijkers ‹gaan wandelen› en haar oppervlak en atmosfeer onderzoeken. Haar binnenste kunnen wij op grond van natuurkundige wetten ‹berekenen›.



De zon. De hete, borrelende gasbal Zon, waarin plaats zou zijn voor een miljoen aardbollen, draait eens in de maand om haar as. Haar verschillende delen draaien met verschillende snelheid: het equatoriale gedeelte heeft 25 dagen nodig voor een omwenteling, de poolstreken 34 dagen. Deze inwendige wringing van de gasbal veroorzaakt ontzaglijke stromingen van de gassen en electrische ladingen. Zij bewegen zich uit de diepte naar boven en van de oppervlakte naar de diepte. Hierdoor, en door magnetische velden, worden de gedaante en de bewegingen van de verschijnselen die wij op deze gasophoping in de wereldruimte zien, bepaald. Wij zien echter slechts de verblindend schelle ‹fotosfeer› van de zon met haar temperatuur van 6.000° C. Zij straalt het zichtbare licht uit dat door onze dampkring heendringt en door onze ogen wordt opgevangen. De fotosfeer is ‹gegranuleert›, bedekt met stromingscellen die een doorsnee van 200—1.500 km hebben en zich zonder onderbreking in een paar minuten vormen en weer oplossen.

In deze zonnegranulatie verschijnen als eerste tekenen van zonneonweders schelle, oververhitte wolken, de z. g. fakkels. Er tussen ontwikkelen zich langzaam uit de diepte opstijgend de zonnevlekken. Dit zijn donkere vormingen met een sterk magnetisch veld; hun temperatuur ligt 1.000° C.

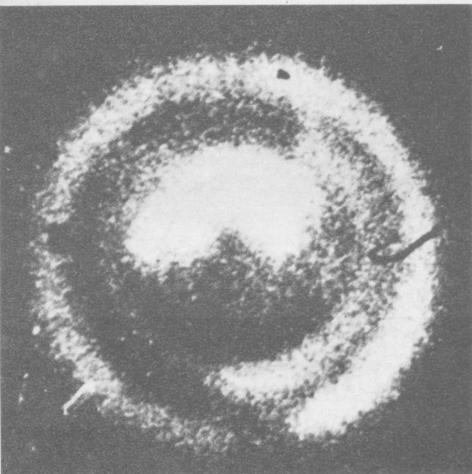
28 · Deel van de zonneschijf en —rand met grote protuberans. *Rechts* er onder de planeten Mercurius, Venus, Aarde en Mars. Ter vergelijking van de grootten *links* Saturnus.

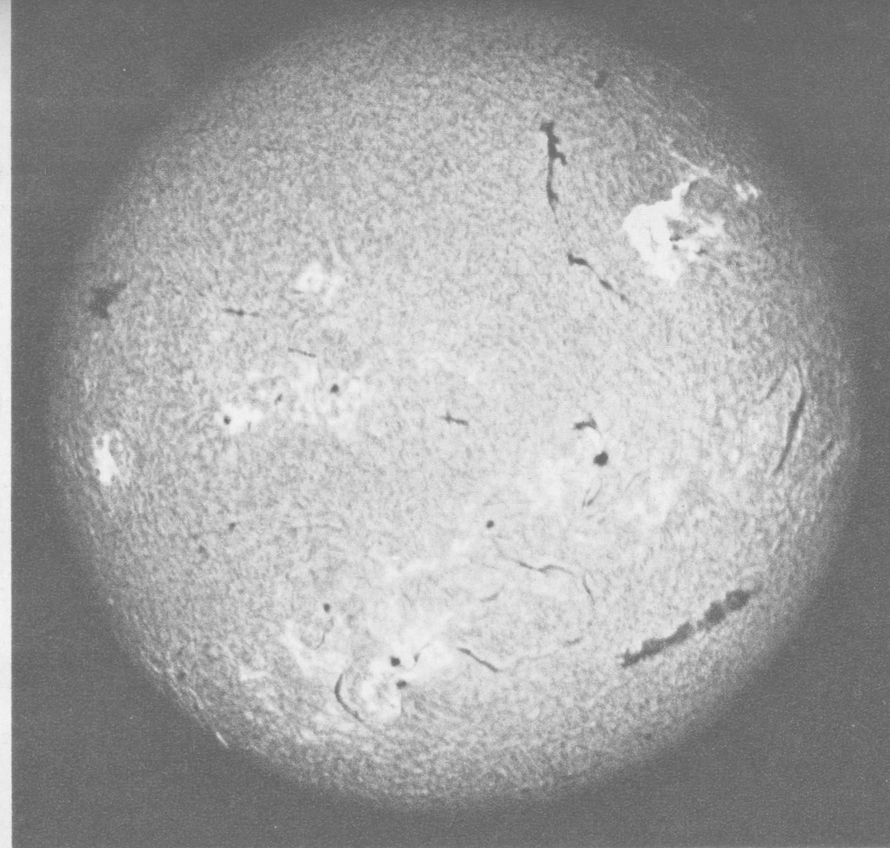
beneden die van de fotosfeer. In volle ontwikkeling hebben ze een donkere kern, de umbra, omsloten door de straalvormige structuur van een lichtere penumbra. De vlekken treden steeds in groepen op, die zich van een paar kleine tot complexen van meer dan 50, soms 100 vlekken kunnen ontwikkelen. Afhankelijk van hun grootte en activiteit hebben ze een levensduur van een paar dagen tot verscheidene maanden. De grootste groepen nemen een paar promille van de zichtbare oppervlakte in beslag. — De frequentie der vlekken wisselt met een periode van 11 jaar (‹zonnevlekkencyclus›).

De fotosfeer is de diepste laag van de zon die wij kunnen waarnemen. Praktisch alle licht- en warmtestraling komt er vandaan; optisch is dit de oppervlakte van de zon. De uitgestraalde energiehoeveelheden zijn geweldig: op 1 m² van het aardoppervlak valt 1.4 KW, de zon straalt in 't geheel 3.7 maal 10^{23} KW uit. Pas de kernfysica heeft de vraag kunnen beantwoorden waar die massa's energie vandaan komen: in het binnenste van die hoofdzakelijk uit waterstof bestaande kogel worden bij een temperatuur van 15 miljoen graden door kernreacties ontzettende hoeveelheden energie vrijgemaakt, die door straling en convectie naar buiten dringen.

Boven de fotosfeer ligt een andere, doorzichtige atmosferische laag, de chromosfeer. Haar gasmassa's hebben een temperatuur van ongeveer 10.000° en reiken tot een hoogte van 10.000—15.000 km boven de fotosfeer. Ze is alleen bij totale zonsverduisteringen een ogenblik als een vlammende smalle ring zichtbaar. Dan blijkt zij uit ontelbare kleine pieken en sproeiers, de ‹spicula› opgebouwd te zijn, die in 5 à 10 minuten groeien en weer in elkaar zakken. De ongestoorde chromosfeer is grover gestructureerd dan de granula van de fotosfeer. Karakteristiek zijn de langgerekte, donkere, dunne draden en brede banden, de ‹filamenten›. Aan de zonnerand, waar ze als lichte wolken, bogen en fonteinen optreden, tonen ze hun ware natuur (verg. afb. 33). In die atmosferische laag ontstaan de geweldige erupties die plotseling oplichten en verschillende energierijke stralingen uitzenden.

Ook de buitenste mantel van de zon, de corona, kan alleen bij totale zonsverduistering als een lichte stralenkrans gezien worden. Zij strekt zich als een buitengewoon dunne atmosfeer ver in de interplanetaire ruimte uit en reikt met haar laatste uitlopers tot aan de aarde.

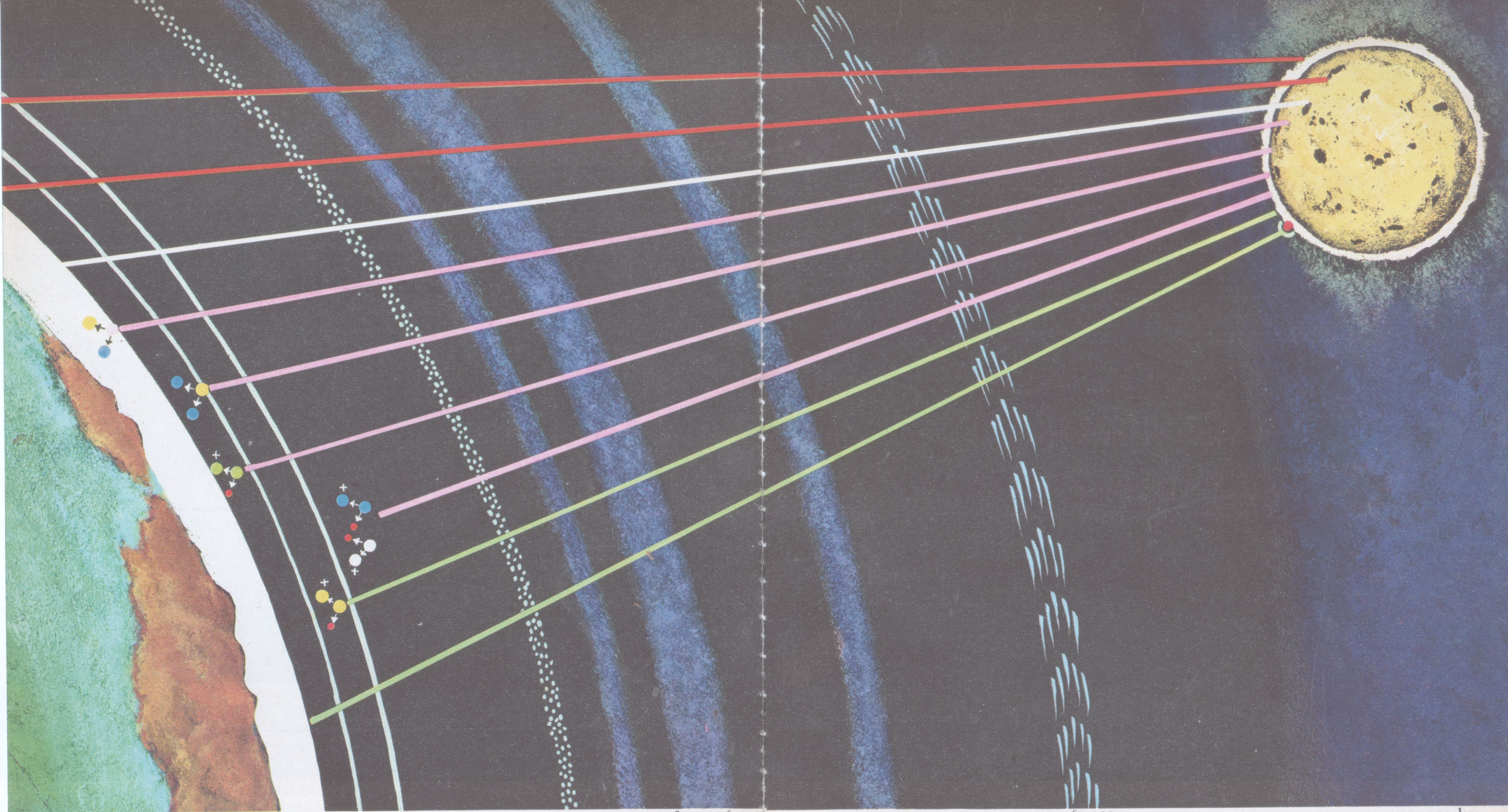




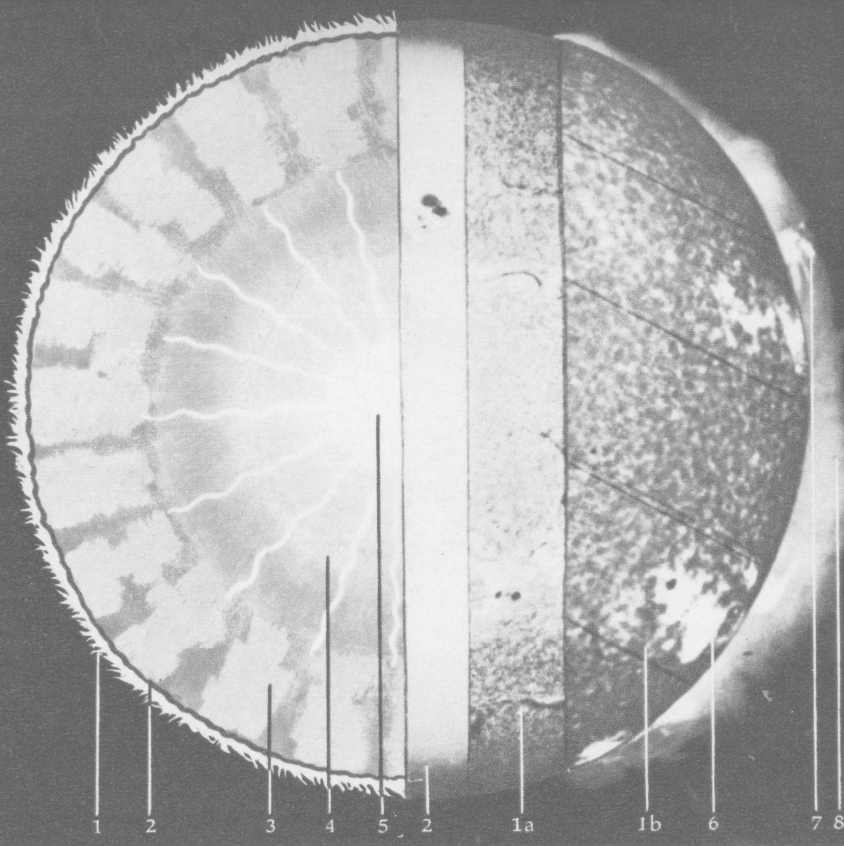
29 · De eerste röntgenfotografie van de zon werd in 1960 met een onderzoekingsraket op 210 km hoogte opgenomen. Daar de dampkring de röntgen- en ultraviolette stralen van de zon absorbeert, ziet deze er in het licht van haar röntgenstraling heel anders uit dan van de aarde af gezien.

Zoals de lichte buitenste ring en het middelste stralingsveld aantonen, zijn de röntgenstralen afkomstig uit de corona en wel voornamelijk uit de ◁ oververhitte gebieden boven fakkels.

30 · Opname van de zon door een filter dat van het optische spectrum alleen het licht van de rode waterstoflijn doorlaat. Daar de chromosfeer van de zon in het licht van die lijn intensief straalt, is het mogelijk haar met deze filter waar te nemen zonder storing door het licht van de fotosfeer, vlak voor de zonneschijf. De grotere zonnevlekken zijn als ronde, donkere vlekken met de lichte fakkelgebieden er omheen goed zichtbaar. *Rechts boven:* een grote eruptie bij maximale intensiteit.

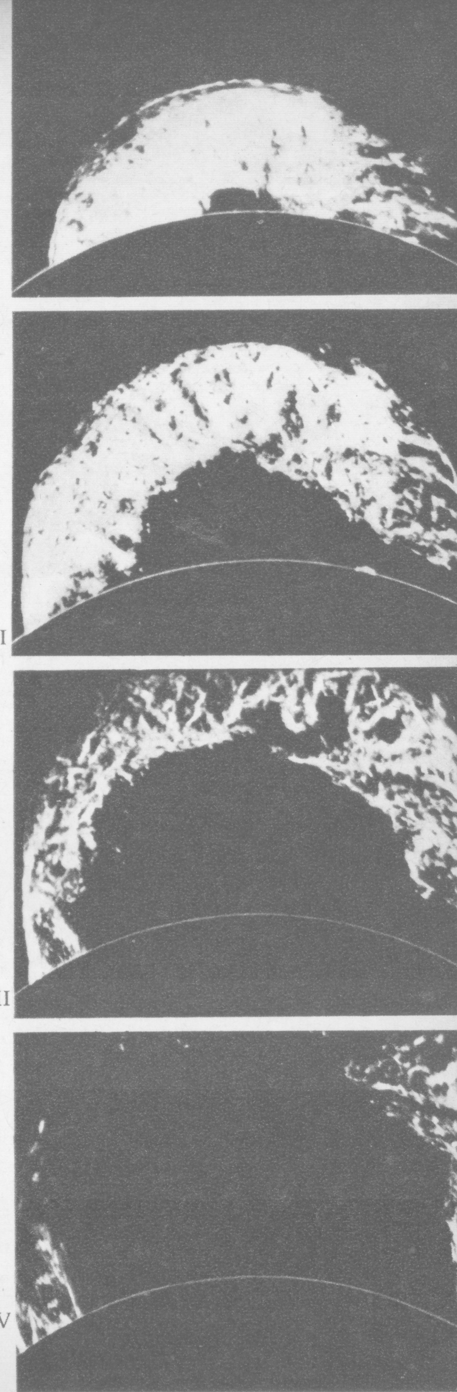


31 · Zonnestralingen in de dampkring van de aarde. Eenheid voor het meten van de golflengte van het licht: de ångström = Å. De langegolfstralen (rood, radiogolven, infrarood) en het licht (wit) bereiken het aardoppervlak bijna ongehinderd. De ultraviolette stralen (violet; 2.100—3.800 Å) worden op verschillende hoogten geabsorbeerd; in de ozonlaag ontleden ze (2.000—3.000 Å) ozon (O_3, lila punt) in moleculaire (O_2, gele punt) en atomaire (O, blauwe punt) zuurstof; bij 100 km hoogte splitsen ze (1.000—2.000 Å) O_2 in twee O-atomen; in de D-laag ioniseren (afsplitsen van een electron) ze (1.216 Å) stikstofoxyde (NO, groene punt; electron: rode punt); in de F-laag ioniseren ze (300—1.000 Å) atomaire zuurstof en stikstof (witte punt). Zachte röntgenstralen (20—100 Å) vormen door ionisatie van moleculaire zuurstof de E-laag van de ionosfeer, hardere röntgenstralen (tot 2 Å) dringen tot 60 km boven de aarde door en versterken de D-laag.

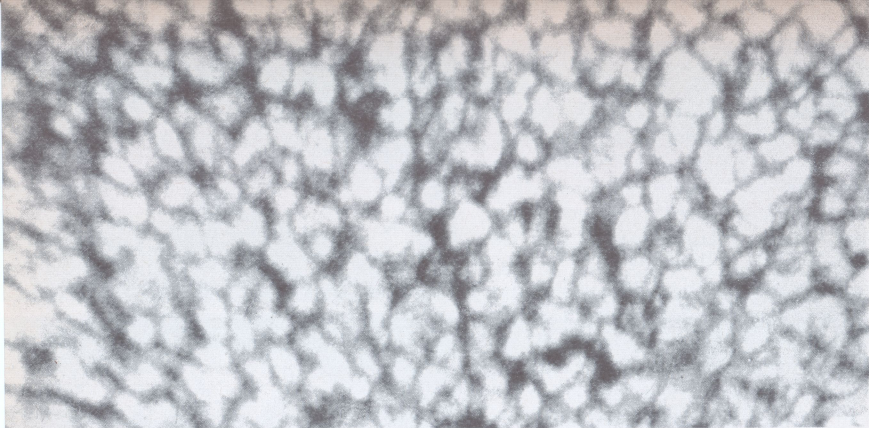


32 · Model van de zon volgens K. O. Kiepenheuer. *Linkerhelft:* doorsnee van de zon, *rechterhelft:* de verschillende atmosferische lagen volgens fotografische opnamen. 1. chromosfeer, 1a. onderste chromosfeer, 1b. bovenste chromosfeer, 2. fotosfeer, 3. borrelgebied, 4. röntgenstralengebied, 5. waterstofatomen-‹element›, 6. fakkels, 7. protuberansen, 8. corona.

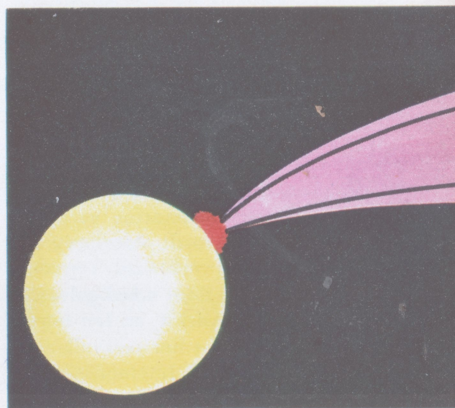
Zonneënergie. In het binnenste van de zon veranderen de waterstofatomen in heliumatomen bij 15 miljoen graden. Uit deze kernverandering heeft de zon haar stralingsenergie in de afgelopen miljarden jaren betrokken en zij kan uit dezelfde bron deze energie in dezelfde hoeveelheden nog miljarden jaren betrekken. Iedere seconde worden 4 miljoen ton materie in energie omgezet. Binnen in de zon heerst een materiedichtheid van 100 g per cm^3, zodat bijna de helft van de massa van de zon zich in haar kern bevindt. De energieën van de ‹thermonucleaire reacties› (zoals die van een waterstofbom) stromen van de zonnekern uit in de vorm van röntgen- en gammastralen voortdurend naar buiten. Maar nog onder de fotosfeer, in het zogenaamde ‹borrelgebied›, gelukt het de straling niet meer, de zonder onderbreking opwellende energiestromen aan de oppervlakte te brengen. De zonnematerie zelf, die nog slechts een dichtheid van enkele honderdsten g per cm^3 heeft, drijft wild kokend en borrelend haar warmte naar buiten. De temperatuur is van 15 miljoen tot 130 duizend graden gedaald. Pas in de fotosfeer neemt de chaos van atomaire reuzenkrachten af. Na ongeveer 100 000 km te hebben afgelegd wordt de turbulente materiemassa in betrekkelijk geordende banen geleid, de stromingscellen, granula. Het gebied van de chromosfeer daarboven is «de branding van de fotosfeer, want het bestaat bijna alleen uit schuimspatten van de fotosferische materie» (Kiepenheuer). Verbazingwekkend is de temperatuur van het zeer verdunde gas van de corona-mantel: ongeveer een miljoen graden. Waar die enorme verhitting door ontstaat, wordt voorlopig nog door hypothesen verklaard. Ten eerste wordt de corona door schokgolven uit de chromosfeer verhit, en ten tweede waarschijnlijk door het neervallen van interplanetaire stof (meteorieten).

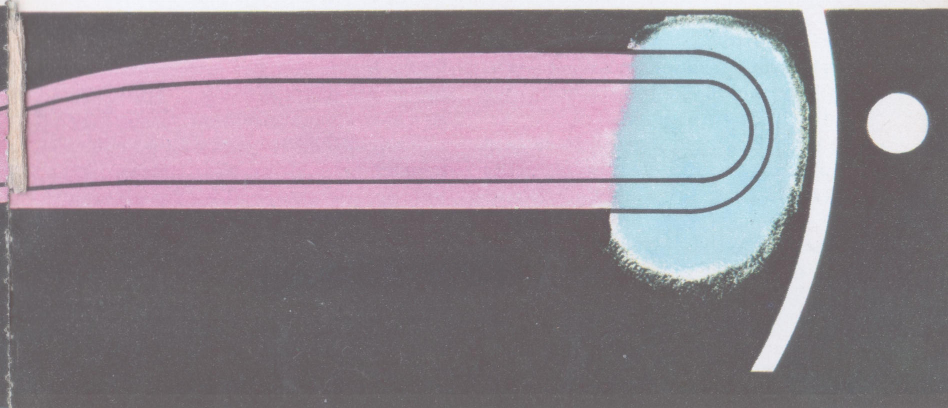


33 · Een reusachtige protuberans in het explosieve stadium. Nadat de filament-protuberans zich in de loop van vele maanden had ontwikkeld, ontplofte hij binnen een uur tijd en schoot met een snelheid van 720.000 km/h de ruimte in. Opnamen tussen 16 uur 3 en 17 uur 3 op 4 juni 1946.



34 · De fijnkorrelige structuur (granulatie) van het oppervlak der zon. Met een onbemande skyhook-ballon (skyhook = hemelhaak) werd in 1957 voor het eerst een spiegeltelescoop tot op een hoogte van 28 km gedragen. Bij deze onderneming maakte een filmcamera uren lang om de seconde een opname. Telescoop en camera kwamen met een valscherm beneden. De opnamen toonden de granula van de zon in hun ware gedaante en grootte. Opnamen van de aarde af geven de granulatie door luchtbeweging en diffuus licht onduidelijk en groezelig weer. Pas nu kon worden vastgesteld dat de kleinste elementen van de granula 200 km in doorsnee waren.
De licht- en warmtestralen worden door de zon in een gelijkmatige stroom uitgezonden; er konden geen intensiteitsschommelingen worden vastgesteld. Wat daarentegen de langegolf-radiostralen en de kortegolf-ultraviolet- en röntgenstralen betreft, bleek de zon een veranderlijke ster met korte, sterke intensiteitspieken, langzamere onregelmatige schommelingen en 27-dagige en 11-jarige perioden.

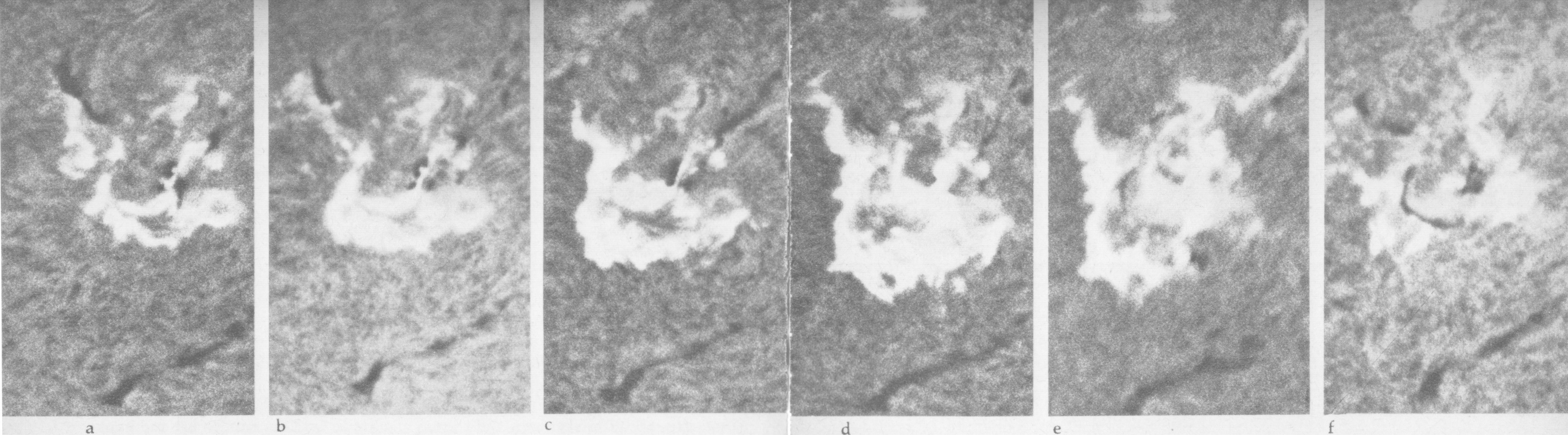




De oorzaak daarvan is deze: de bronnen van de sterke röntgen-, ultraviolet- en radiostralen zijn de fakkels en coronagebieden van de z. g. activiteitscentra. De gezamenlijke sterkte van deze stralingen hangt daardoor van het aantal en de intensiteit van de activiteitscentra af. Maar die zijn veranderlijk. Er worden op de zon vlekkengroepen waargenomen, welker aantal van dag tot dag verandert, enerzijds door de vorming van nieuwe en het verdwijnen van oude groepen, anderzijds door de draaiing van de zon, waaraan ook de vlekken deelnemen. Ze treden dus aan de oostrand van de halve bol op, verdwijnen na 13 dagen weer aan de westrand en duiken — als ze zo lang leven — na 27 dagen weer aan de oostrand op.

Van de vlekkengroepen zijn uitbreiding en helderheid van de fakkels er omheen en de hete coronagebieden er boven afhankelijk. Vlekken, fakkels en coronagebied vormen samen telkens een ‹activiteitscentrum›. Dit ontstaat doordat er sterke magnetische velden uit de diepte opstijgen en zich in de zonneatmosfeer uitbreiden. Eerst vormen er zich een lichte fakkelpunt en een paar kleine vlekken, die allebei snel uitgroeien en zich vermeerderen. Na 10 tot 14 dagen heeft de vlekkengroep zijn grootste uitbreiding en begint hij uiteen te vallen, terwijl het fakkelgebied en het hete coronagebied zich verder uitbreiden, waarbij hun lichtheid afneemt, en tenslotte de vlekken nog 1 à 2 maanden overleven. In de vlekken heersen veldsterkten tot een paar duizend gauss toe — de eenheid waarin veldsterkte wordt uitgedrukt — in de fakkels van 10 tot 200 gauss.

35 · In 1959 werd met een Amerikaanse ruimtesonde voor de eerste keer een gaswolk in de interplanetaire ruimte geregistreerd voordat hij de aarde bereikt had. De wolk bestond uit geïoniseerd gas en was in een actief zonnevlekkengebied door een eruptie uitgestoten. Hij legde de afstand zon-aarde in ongeveer een dag af. De wolk bracht magnetische velden van de zon mee. In die ‹krachtenbuis› werden de geladen deeltjes vastgehouden. De gaswolk stoorde de ionosferische lagen en het aardmagnetisme en veroorzaakte sterk noorderlicht. Men vermoedt dat zulke partikelwolken van de zon de interplanetaire ruimte leeg vegen.



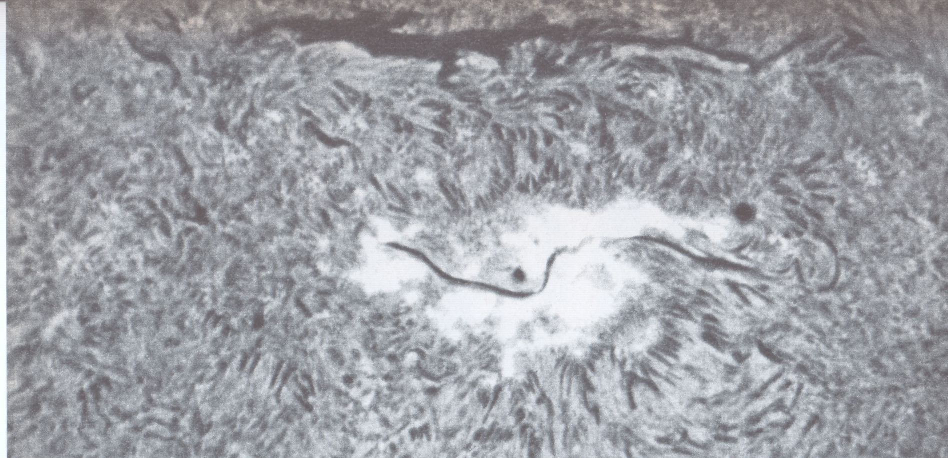
36 · Opnamen van 6 fasen van de eerste grote chromosferische eruptie, die tijdens het IGY op 3 juli 1957 van 7 tot 11.30 plaatshad.
De grootteverhoudingen zijn te zien in afb. 30, die deze eruptie eveneens weergeeft.

Opnametijden: a) 7.15, b) 7.22, c) 7.31, d) 7.50, e) 8.33, f) 10.45.

Chromosferische erupties. Chromosferische erupties zijn buitengewoon ingewikkelde verschijnselen, die zowel in de zonneatmosfeer als in de interplanetaire ruimte en in de aardse dampkring een hele reeks processen veroorzaken.
Deze erupties treden zo goed als uitsluitend binnen zonnevlekkengroepen op, en wel met duidelijke voorkeur voor de grootste en actiefste. Ze vlammen plotseling, binnen 5 of 10 minuten, in het licht van verschillende lijnen van het zonnespectrum op; in het ongesplitste witte licht zijn ze maar zelden zichtbaar. Terwijl ze zich nog uitbreiden neemt hun helderheid al weer af, en naar gelang van hun grootte zijn ze al na 10 minuten of pas na een paar uur weer uitgedoofd.
Soms worden er gedurende de ontwikkeling van de eruptie lichtende of donkere gasmassa's uitgestoten met snelheden tot een paar honderd km/sec; deze gasmassa's keren na 10 tot 20 minuten weer naar de zon terug. Maar dit is slechts het optische beeld van de eruptie, en eigenlijk het minst belangrijke van het totale verschijnsel.
Wij weten tegenwoordig dat een eruptie heel wat meer is dan een optisch verschijnsel. Bepaalde effecten die tegelijk met het oplichten van de eruptie op de zon in de aardse ionosfeer optreden — allereerst de kortegolffading — hebben tientallen jaren geleden al aangetoond, dat de eruptie ook een zeer energierijke kortegolfstraling uitzendt; dit is door metingen met raket- en satellietinstrumenten de laatste jaren bevestigd.
De intensiteit van het röntgenlicht dat bij deze erupties uitgestraald wordt overtreft de stralingsintensiteit van de rustige zon vele malen.
Hetzelfde geldt voor het deel van het zonnespectrum met de grootste golflengten, het gebied van de radiogolven: dikwijls wordt van het gebied van grote erupties uit seconden of minuten lang een buitengewoon intensieve straling uitgezonden in de cm-, dm- of metergebieden, die soms miljoenenmalen sterker is dan de overeenkomstige straling onder normale omstandigheden. Die stralingsstoten of ‹bursts› worden met recht ‹radiobliksems› genoemd.
Behalve de stralingen gaan er van de erupties ook dynamische werkingen uit. De erupties werken op hun omgeving als een ontploffing. Er breiden zich b. v. — met snelheden tot 2.000 km/sec — detonatiegolven uit, die zelfs op een afstand van 100.000 km protuberansen kunnen vernietigen.

Verder worden er onder de invloed van de eruptie energierijke, electrisch geladen deeltjes, meest protonen en electronen, in grote wolken weggeslingerd, die storingen in het aardmagnetisme en in de ionosfeer veroorzaken (verg. afb. 35).

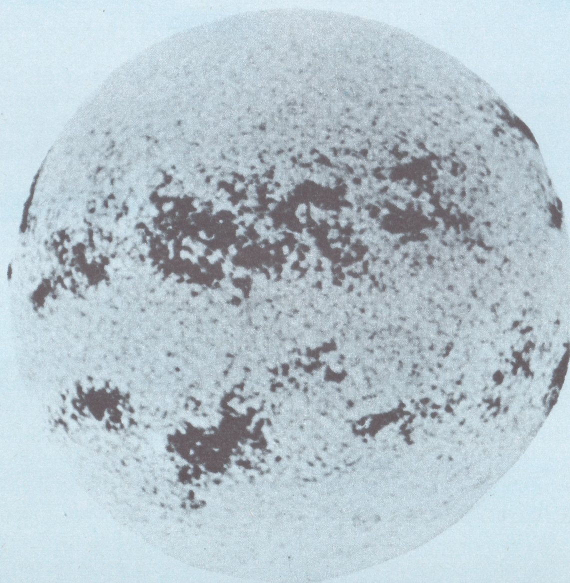
Begrijpelijkerwijze hebben de erupties, door hun inwerking op de aarde, de grootste belangstelling van de geofysici genoten. Daarom was een van de voornaamste doeleinden van het IGY, de erupties helemaal te begrijpen. Door het deelnemen van meer dan 50 observatoria aan de internationale zonne-‹bewaking› is dit doel ook bereikt.



37 · Vlekkengroep met fakkelgebied en jong filament.

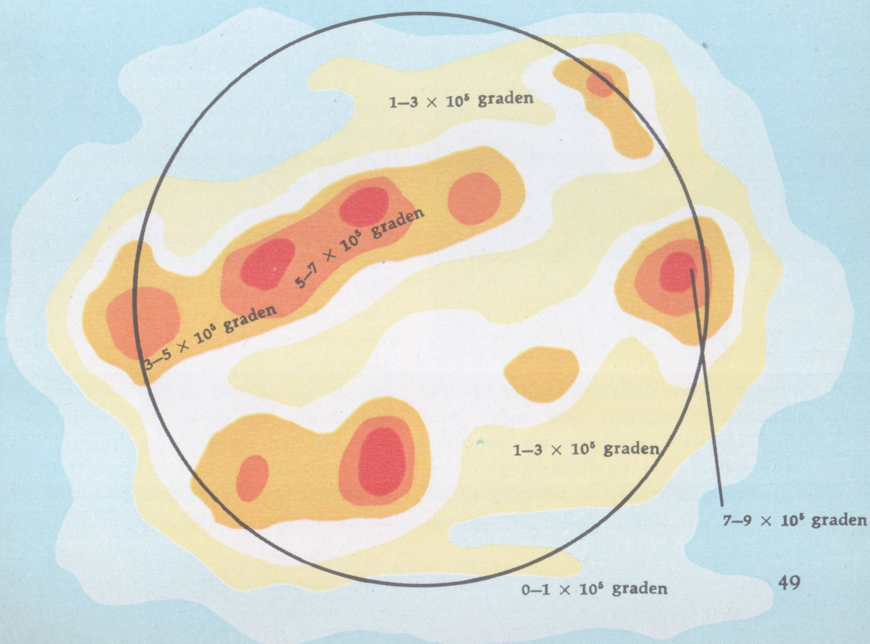
38 · Negatief van een calcium-spectroheliogram, de zon gefotografeerd in het licht van een spectraallijn die alleen door het element calcium uitgezonden wordt. ▽

39 · De gebieden van hoge intensiteit op het radioheliogram komen ongeveer overeen met de hete calciumwolken van de tegelijk opgenomen afb. 38. ▷

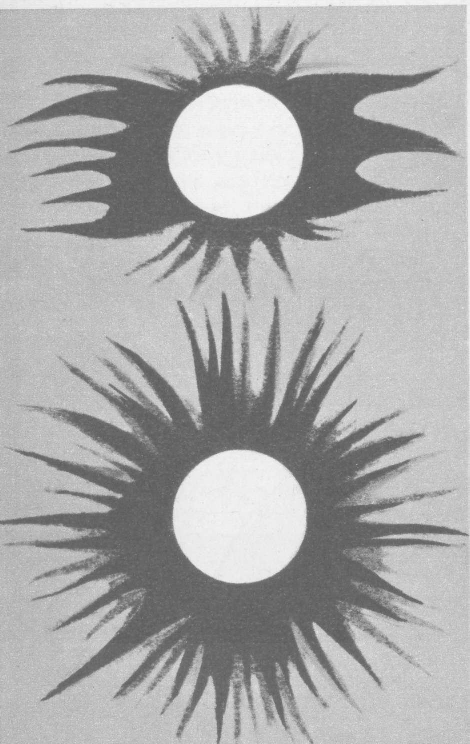


Filamenten. Zodra de ontwikkeling van een vlekkengroep haar hoogtepunt bereikt heeft, vormen er zich filamenten. De in deze fase ontstane filamenten bestaan echter meestal slechts kort. Pas na het afsterven van de vlekken ontstaan stabiele filamenten (protuberansen) die een paar maanden blijven bestaan. Hun ontwikkeling wordt vroeg of laat onderbroken door een actief zonnestadium of een plotselinge verdwijning, maar weldra vormt het zich dan weer op de oude plaats in dezelfde vorm.

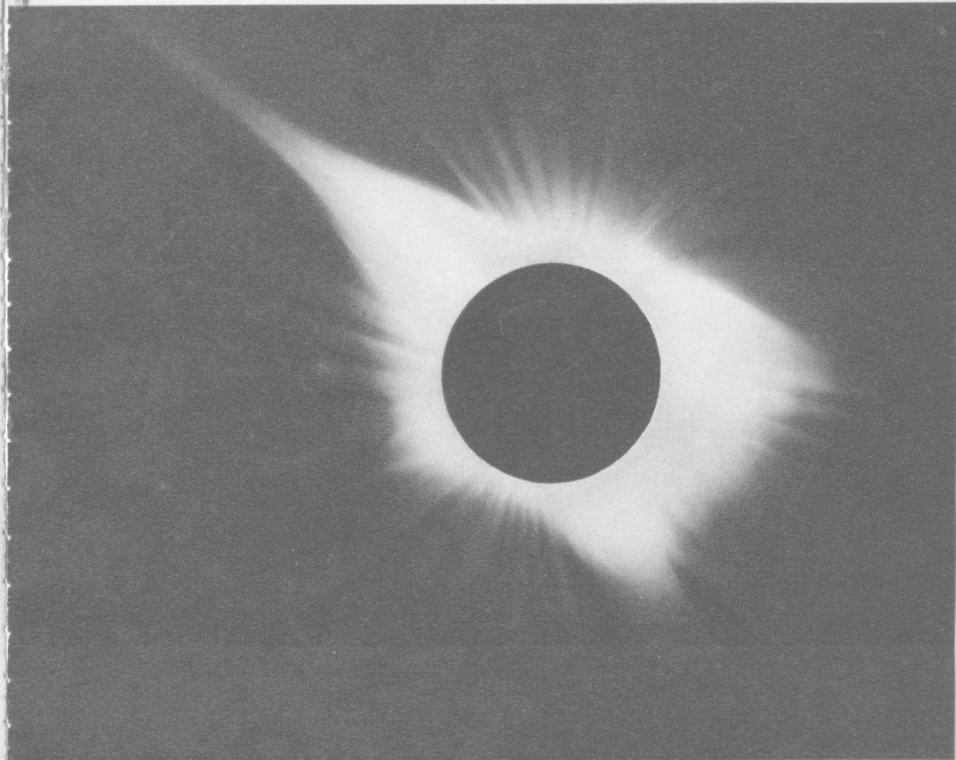
Radiostraling. De radioastronomie onderzoekt met de radiotelescoop en met reusachtige antennesystemen de radiogolven, die door kosmische nevels, melkwegen en vaste sterren worden uitgezonden. Ook de zon zendt een radiostraling van hoge intensiteit uit op golflengten van centimeters, decimeters en meters. De straling tussen 0.6 m en 30 m wordt door de aardeatmosfeer doorgelaten. Met het radioöog gezien vertoont de zon een volkomen ander beeld dan wat wij met onze ogen zien: de radiozon is groter dan de lichtzon. Want een groot deel van de radiostraling is afkomstig van de corona, dus van die buitenste zone, die wij in normale omstandigheden helemaal niet kunnen zien. Met een speciaal gebouwde radioheliograaf kan men de zon punt voor punt aftasten; het resultaat wordt geregistreerd in de vorm van een radiokaart. Als men zo'n radioheliogram met zijn radio-isofoten — dit zijn lijnen van gelijke energiestraling — vergelijkt met een spectroheliografische opname, dan kan men constateren, dat de lichtheidsverdeling in de twee heliogrammen goed overeenkomt.



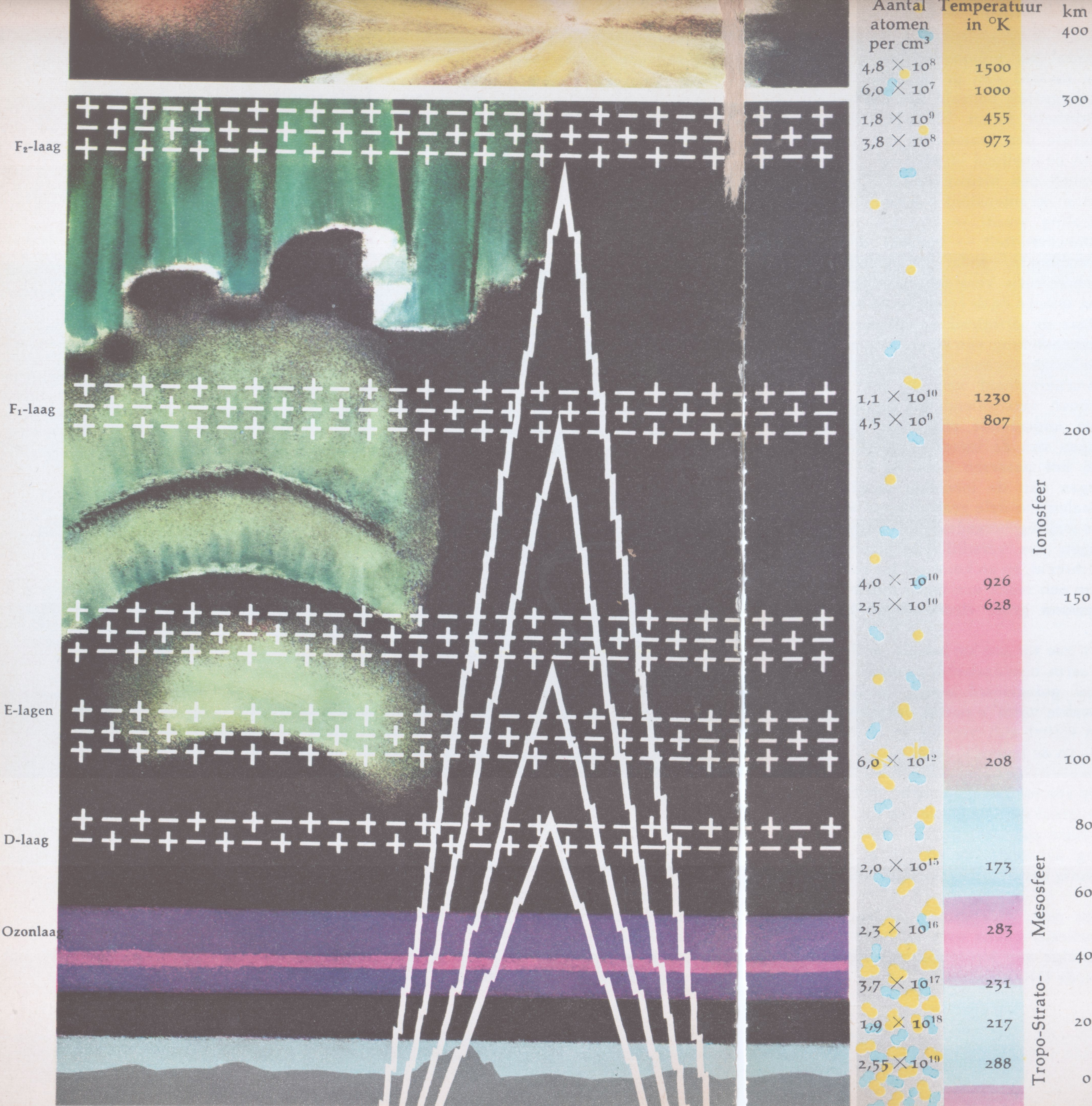
40 · Wanneer bij een totale zonsverduistering de maan de zonneschijf helemaal bedekt, straalt de lichte krans van de corona. Sedert meer dan een eeuw worden bij elke totale zonsverduistering talrijke astronomische expedities uitgezonden, om de kostbare minuten der totaliteit voor coronaonderzoek te gebruiken. Alles bij elkaar hebben de sterrekundigen voor onderzoekingen tijdens zonsverduisteringen niet meer dan ruim honderd minuten ter beschikking gehad. De verduisteringen zijn nog steeds verreweg de beste gelegenheid om de corona waar te nemen.



Haar licht is voor het grootste deel niets anders dan zonlicht, dat tegen de in de corona aanwezige vrije electronen gestrooid wordt.
De vorm van de corona is bij iedere verduistering weer anders en verandert blijkbaar wetmatig met de graad van de vlekkenactiviteit: tijdens geringe activiteit — in het minimum — is de corona langgerekt en gekenmerkt door korte, dunne pluimen op de polen en lange equatoriale stralen. De poolpluimen schijnen de richting van het ‹algemene› magnetische veld van de zon te volgen, dat bij de polen naar buiten treedt, en dat hier op dezelfde manier zichtbaar gemaakt wordt als de krachtlijnen van een staafmagneet door ijzervijlsel. Tijdens grote activiteit heeft de corona daarentegen een meer rondachtige vorm met kortere stralen in alle richtingen. Vooral in haar binnenste delen straalt de corona ook eigen licht uit. Als dit spectroscopisch ontleed wordt, treden er lijnen op die bij ontleding van zonlicht niet optreden. De oorsprong van die lijnen, die slechts 1 tot 2% van het totale coronalicht bijdragen, was lange tijd raadselachtig, daar ze klaarblijkelijk niet tot het spectrum van een bekend element behoorden. Pas het inzicht, dat de corona uit een gas bestaat dat door zijn hoge temperatuur sterk geïoniseerd is, verschafte de verklaring: de lijnen worden door herhaaldelijk geïoniseerde ijzer-, nikkel-, calcium- (enz.) atomen uitgezonden, die 10 tot 15 van hun electronen verloren hebben. Er heersen in de corona blijkbaar fysische toestanden die in een laboratorium niet kunnen worden nagebootst.
Met behulp van een speciale kijker, de coronograaf van Lyot, kan men de zonnecorona — speciaal de bovengenoemde emissielijnen — ook buiten de zonsverduisteringen observeren. Daardoor is het mogelijk geworden, de processen binnen in de corona doorlopend te volgen, maar de waarnemingen bij verduisteringen zijn voorlopig toch door niets te vervangen.
De radioastronomie heeft onze kennis van de zonnecorona aanmerkelijk vergroot. Maar tegelijk wierp zij nieuwe problemen op. Tengevolge van haar hoge temperatuur zendt de corona golven uit in het metergebied, haar binnenste delen een zeer veranderlijke straling in het decimetergebied. Bovendien komen daar de korte stralingsstoten vandaan die bij erupties optreden. Ook de raketten- en satellietenastronomie levert belangrijke bijdragen voor het coronaonderzoek, door het meten van haar röntgen- en ultraviolette stralen, die op aarde niet opgevangen kunnen worden.



41 · Opname van een minimumcorona op 25 februari 1952. De ongewoon lange coronastraal kon tot op een afstand van 5 zonnediameters gevolgd worden.



IV

DE HOGE LAGEN VAN DE DAMPKRING

Bouw van de hoge dampkringslagen. Terwijl de lagere dampkringslagen tot op 35 km hoogte nog enigszins stabiel zijn, zijn de hoge of buitenste aan sterke veranderingen onderhevig. De eigenschappen van deze geheel doorschijnende gasmantel wisselen met dag en nacht en zijn afhankelijk van de seizoenen, deels van de geografische breedte en tenslotte in hoge mate van de zonneactiviteit. De dichtheid en temperatuur, de toestand van moleculen en atomen zijn afhankelijk van de intensiteit der kortegolfstralingen (röntgen en ultraviolet) en van de van de zon af invallende partikelstromen. De verschillende gebieden van de hoge atmosfeer kunnen slechts grof in een schema gepast worden — meer op grond van toestand en eigenaardigheden dan volgens uitbreiding — want de grenzen tussen exosfeer, ionosfeer en stratosfeer zijn in hoge mate vloeiend.

Tot op hoogten van ongeveer 100.000 km reikt het magnetische veld van de aarde, de magnetosfeer. Op 65.000 km bevindt zich de kringstroom die het buitenste magnetische veld verwekt. Op ongeveer 40.000 km bestaat waarschijnlijk een zwakke stralingsgordel, de derde buitenste. Op 23.000 km begint de tweede gordel die tot 15.000 km omlaag reikt. Het middelpunt van de binnenste of eerste gordel ligt ongeveer op 10.000 km hoogte.

42 · De bouw van de hoge dampkringslagen (verg. afb. 31).

De lagen van de buitenste dampkring. De metingen met de Amerikaanse satelliet Explorer XII hebben aangetoond, dat de gebieden van hoge stralingsintensiteit geleidelijk in elkaar overgaan.

Tussen 2.000 en 20.000 km hoogte is de aarde door een ijle waterstofmantel omgeven, die van de aarde af niet waarneembaar is. Hij werd ontdekt door zijn intensieve lichtgeven in een ultraviolette waterstoflijn, toen men een met ultraviolet-detectoren uitgeruste raket — voor het opsporen van ultraviolette stralingsbronnen, b. v. sterren — de hemel liet aftasten. De hemel boven de raket en het gebied er onder gaven op deze golflengte zoveel licht, dat alle eventueel aanwezige buitenaardse ultraviolette stralingsbronnen volkomen overschenen werden.
Op 2.000 km hoogte werd het bestaan van een stofwolk geconstateerd die de aarde ringvormig omgeeft. De dichtheid er van is ongeveer het duizendvoud van het interplanetaire stof.

De ionosfeer omvat het gebied tussen 70 en 1.000 km boven de aardbodem. Hier worden onder de invloed van de energierijke solaire ultraviolette en röntgenstralen overdag doorlopend atomen en moleculen geïoniseerd, d. w. z. er wordt een electron uit de atoommantel geslagen: de atomen en moleculen worden positieve ionen. De afgesplitste ‹vrije›, negatief geladen electronen kunnen met positieve ionen weer neutrale atomen en moleculen vormen (recombinatie) of met neutrale atomen en moleculen negatieve ionen. Door de dichtheid der vrije electronen — d. w. z. hun aantal per volumeëenheid — wordt de invloed van de ionosfeer op de radiogolven bepaald. De electronendichtheid hangt blijkbaar van de sterkte der ioniserende straling en van de snelheid af waarmee de electronen een nieuwe verbinding aangaan: de intensiteit van de effectieve straling wordt — afgezien van de zonneactiviteit — bepaald door de zonshoogte, zodat de electronenconcentratie verandert met het uur, het seizoen en de geografische breedte. Daar de dichtheid en de chemische samenstelling van de dampkring met de hoogte verandert, is ook de recombinatiesnelheid van de vrije electronen verschillend. En eindelijk is het ioniserende effect niet in alle lagen van de ionosfeer gelijk, want bij het passeren door de bovenste lagen van de ionosfeer worden de stralen ten dele geabsorbeerd en dus de straling veranderd. Zo ontstaan er lagen van verschillende electronendichtheid, en zo komt het tot vorming van een reeks van lagen met buitengewoon grote electronendichtheden.

Op 200 tot 400 km hoogte: de F-laag, waarin hoofdzakelijk atomaire zuurstof geïoniseerd wordt; is in verzwakte vorm 's nachts ook aanwezig en splitst zich overdag in de hogere F_2- en de lagere F_1-laag.

Op 100 tot 140 km hoogte: de E-laag, gevormd door de ionisering van moleculaire zuurstof (O_2); is alleen overdag aanwezig, de sterkte is nauwkeurig van de zonnestand afhankelijk.

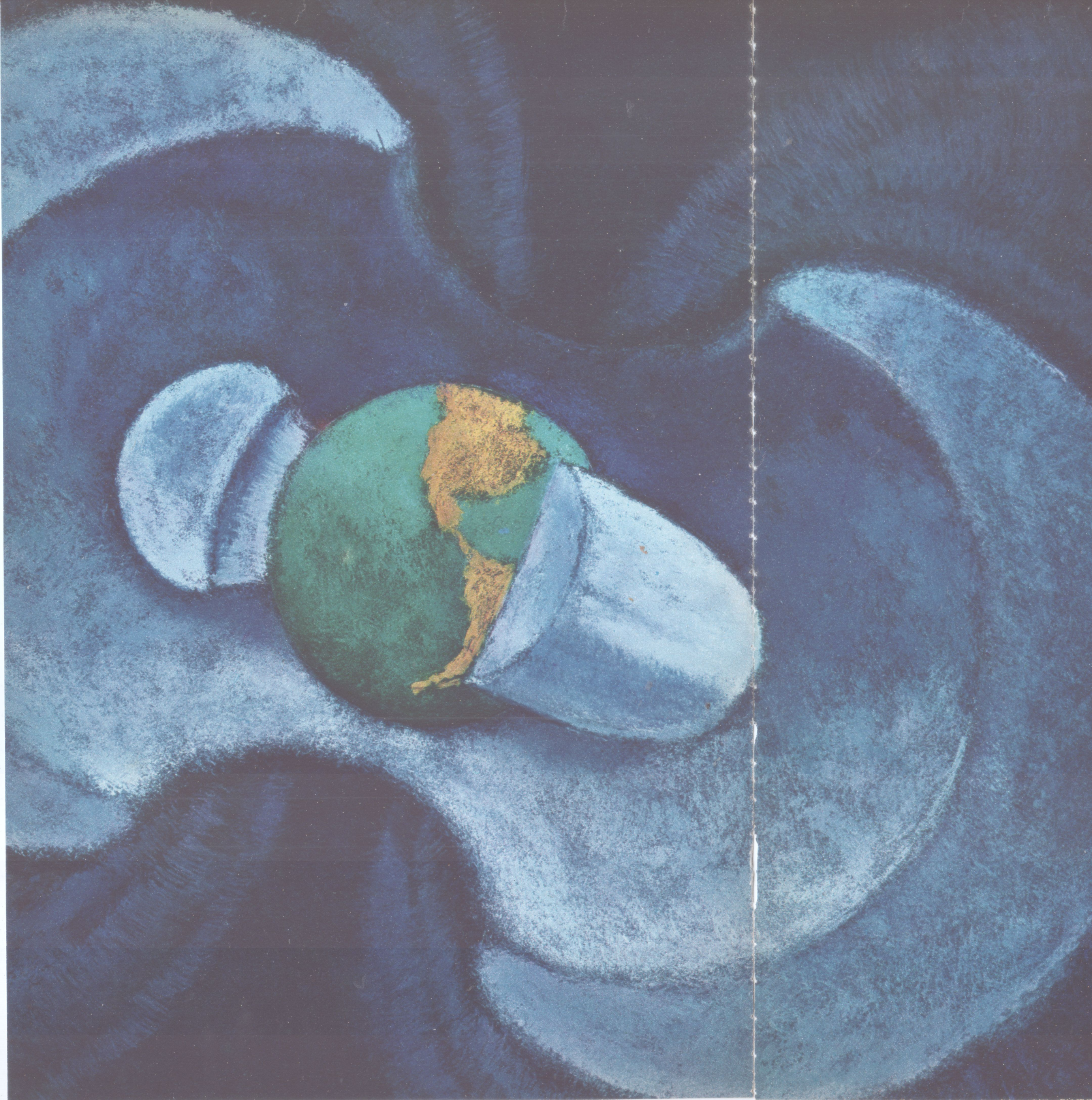
Tot ong. 75 km: de D-laag, die eveneens alleen overdag en wel ten gevolge van ionisering van stikstofoxyde (NO) bestaat.

Impuls-echo-methode. Door het gehalte aan vrije electronen en de daaruit voortkomende geleidendheid kunnen de lagen van de ionosfeer radiogolven van bepaalde frequentie- (golflengte-) gebieden terugkaatsen. Deze eigenschap vormt de basis van het ionosfeeronderzoek met behulp van de impuls-echo-methode: er worden korte radioimpulsen uitgezonden, waarvan de frequentie in een paar minuten een bepaald frequentiegebied doorloopt. De impulsen worden tot aan een zekere frequentie, de z. g. grensfrequentie, op een precies vaststelbare hoogte boven de zender teruggekaatst.
Hogere frequenties dan de grensfrequentie worden niet of pas op aanzienlijk grotere hoogte teruggekaatst, en wel weer slechts tot een zekere grensfrequentie.

De grensfrequentie van iedere laag is afhankelijk van de maximale electronendichtheid van die laag. Zo kan men uit de grensfrequentie de electronendichtheid en verder de sterkte van de ioniserende zonnestraling afleiden. Voordat directe meting met raketten en satellieten mogelijk was, werd op deze wijze de intensiteit van de zonnestraling in het gebied van het kortegolf-ultraviolet bepaald. Met behulp van de echomethode hebben tijdens het IGY bijna honderd ionosfeerstations de toestand van de ionosfeer boven de hele aarde doorlopend bewaakt. Andere mogelijkheden om de structuur van de ionosfeer te onderzoeken bieden zenders in satellieten die boven de ionosfeer omlopen, en buitenaardse radiogolven, waarvan de straling door de absorberende en brekende ionosfeer heen gemeten wordt.

Ionosfeer en radioverkeer. Uit deze uiteenzetting blijkt de beslissende betekenis van de ionosfeer voor het radioverkeer. Zonder de ionosfeer zou op aarde in het belangrijke gebied van de kortegolf — 10 tot 50 m — überhaupt geen radioverbinding mogelijk zijn, want deze golven bereiken de ontvanger alleen doordat een van de ionosfeerlagen ze terugkaatst. Hoe korter de golven (hoe hoger de frequenties) zijn, zoveel schever moeten ze de laag treffen om nog teruggekaatst te kunnen worden. Voor de radioverbinding met satellieten en ruimtesonden is de ionosfeer evenwel storend, alleen frequenties die hem goed kunnen doordringen, zijn bruikbaar, dat zijn de golflengten lager dan 10 m (ultrakorte en decimetergolven).
De weerkaatsing van de korte golven heeft overdag plaats door de E-, F_1- en F_2-laag, 's nachts alleen door de F_2. Door de D-laag worden alleen kilometergolven teruggekaatst, maar de midden- en kortegolf worden er sterk door geabsorbeerd.

Als er op de zon erupties plaatshebben, wordt de D-laag door de sterk ioniserende extrastraling die erbij optreedt, aanzienlijk versterkt, hij kan dan de korte golven geheel absorberen. Dit is de meest voorkomende ionosfeerstoring, de ‹kortegolffading›, waarbij het radioverkeer minuten of ook wel uren lang verbroken is. Andere, vaak dagenlang aanhoudende ‹ionosfeerstoringen›, de ‹ionosfeerstormen›, treden ook ten gevolge van erupties tegelijk met aardmagnetische stormen op. Daarbij wordt vooral de structuur van de F-laag door de inslag van solaire corpusculaire straling sterk verstoord.

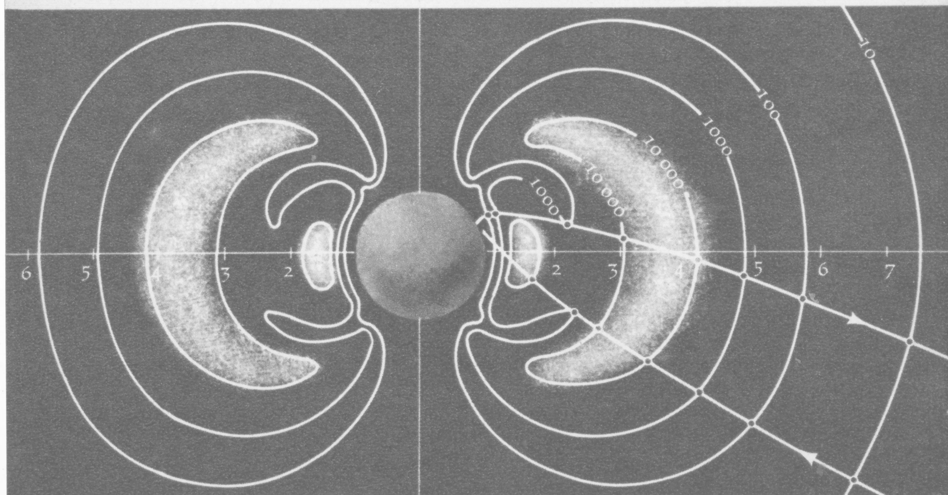


Stralingsgordels. De gewichtigste ontdekking in het IGY was het vinden van twee electrische gordels die de aarde op grote hoogte omringen en alleen de magnetische polen vrijlaten. Voor het grote publiek was dit resultaat van het IGY zo sensationeel, omdat de buitengewoon sterke straling van de ‹Van-Allen-gordels› — genoemd naar de ontdekker er van, prof. van Allen — bemande ruimtevlucht ten enenmale onmogelijk scheen te maken.
Door de metingen van Amerikaanse en Russische satellieten en de ruimtesonden werden gedaante en eigenschappen van de gordels nauwkeuriger bepaald.

Het centrum van de eerste, binnenste gordel ligt ongeveer 10.000 km van het middelpunt der aarde verwijderd. Hij bestaat uit protonen (waterstofatoomkernen) en electronen met grote energie. In het maximum van de straling werd door de Explorer IV (1958—'59) een intensiteit van 4 röntgen per uur gemeten. De mens kan slechts 0,1 röntgen per week verdragen. Op 30.000 km hoogte bedraagt de energie van de straling nog 2 r per uur.
De tweede, buitenste gordel bestaat uit twee intensiteitsmaxima die 15.000 tot 23.000 km van het middelpunt van de aarde verwijderd zijn. Deze buitenste gordel bestaat alleen uit electronen, die van de plasmawolken van de zon afkomstig zijn.

43 · Model van de twee (opengesneden) stralingsgordels, die de aarde op een hoogte van 10.000 en 15.000—23.000 km omgeven.

Het magnetische veld en de stralingsgordels. Het magnetische veld van de aarde houdt de stralingsgordels vast. Het vangt de geladen deeltjes als in een kooi en legt er een voorraad van aan. Ze bewegen zich langs de krachtlijnen in schroef- of spiraalbanen tussen Noord- en Zuidpool heen en terug. Ze schijnen nooit uit deze ‹magnetische fles› te kunnen ontsnappen. Maar toch slaat de fles soms ‹lek›, als solaire plasmawolken er in doordringen en magnetische stormen veroorzaken. Dan vloeien de opgespaarde deeltjes van het buitenste gebied van de tweede gordel af naar de dichtere dampkringslagen. Door het wegvloeien op een hoogte van 25.000 km daalt de dichtheid der deeltjes snel, maar stijgt kort daarna weer tot het tienvoudige en bereikt pas na 10 tot 20 dagen weer de normale waarde.



44 · Doorsnede van de Van-Allen-stralingsgordels. De schaal der afstanden is in aardstralen van het middelpunt uit aangegeven. De door lijnen ingesloten stukken stellen de gordelgebieden met hun verschillende stralingsintensiteit voor. De cijfers geven de door de Geigerteller gemeten stralingsstoten of impulsen per seconde aan. Een derde stralingsgordel van kleinere intensiteit vermoedt men op een hoogte van 40.000 km. Maar nog ver daarboven, 65.000 km hoog, leverden de metingen met de Explorer VI en de ruimteraket Pioneer V een bestendige equatoriale kringstroom op, die uit geladen, van de zon afkomstige deeltjes bestaat. Door het afvloeien van de electronen uit de buitenste gordel en hun instromen in de lagere dampkring komt sterk noorderlicht tot stand.





45/46 · Noorderlichtverschijnselen in Arctica. Lichtgordijnen, draperieën, golvende linten en bogen, of vlammende stralenbundels vormend treedt het noorderlicht in beweeglijke, aldoor veranderlijke gedaanten op een hoogte van 70 tot 300 km op, ook als de zon rustig is.
Het arctische noorderlicht wordt ook Aurora borealis genoemd, het zuiderlicht in Antarctica Aurora australis. Gezamenlijk noemt men dit indrukwekkende ‹koude schijnsel der lucht› poollicht. Het soms rustige, soms levendig bewogen of in plotselinge losbarstingen stralend opvlammende licht van de hoge atmosfeer kan in verscheidene kleuren optreden: met gele, donkerrode, blauwgroene, blauwe en violette glans is het 's nachts in de poollichtstreken bijna ononderbroken waarneembaar.

Poollicht en aardmagnetische stormen. Dit zijn duidelijke tekenen, dat er kort te voren op de zon een ‹zonneonweer›, een chromosferische eruptie, heeft plaatsgehad. Bij die erupties worden wolken corpuscula van verschillende snelheid, dus met verschillende, gemiddeld hoge energie, uitgestoten, die in de interplanetaire ruimte geweldige protonenstormen verwekken.

De energierijkste stralen zijn zeer snelle protonen, die al een kwartier na het begin van de erupties als solaire kosmische straling bepaalde streken van de aarde kunnen treffen; ze reizen bijna met lichtsnelheid. Daarop volgt een veel langzamere corpusculawolk, die bij een snelheid van circa 1.500 km/sec de baan van de aarde pas ongeveer na een dag bereikt.

Als ze de hoogste lagen van de aardse dampkring binnendringen, veroorzaken de geladen deeltjes sterke schommelingen in het aardmagnetische veld: er ontstaat een soms dagen lang aanhoudende aardmagnetische storm. In de ionosfeer veroorzaken deze deeltjes sterke verstoringen van de gelaagde structuur, wat zich uit in sterke storingen van het kortegolfverkeer.

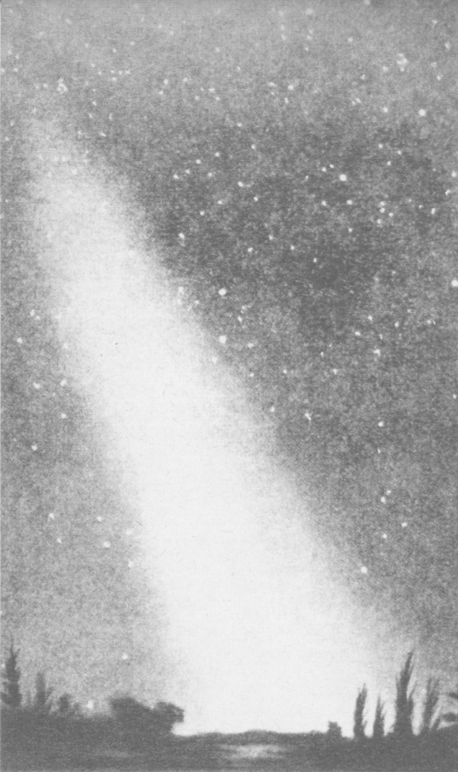
Tot op hoogten van 1.000 km verwekken de binnenschietende deeltjes intensief noorderlicht, zelfs op lagere, bij uitzondering zelfs equatoriale breedten.

Verreweg het vaakst komt noorderlicht voor in de poollichtzones, op 22—24° afstand van de geomagnetische polen. Ook dit poollicht ontstaat door corpusculaire straling van de zon, die echter vermoedelijk niet van nauw begrensde actieve streken op de zon uitgaat. Ze wordt eerder voortdurend bij de ‹verdamping› van de buitengewoon hete corona gevormd, de deeltjes ervan — doorgaans ionen en electronen — hebben tengevolge van deze hoge temperatuur zulke grote snelheden dat ze in de buitenste delen van de corona niet meer door de zwaartekracht van de zon vastgehouden kunnen worden en aan alle kanten als ‹zonnewind› vrij de ruimte in vliegen. Als ze binnen het bereik van de aardmagnetische velden komen, worden ze in de poollichtstreken samengetrokken.

Behalve het poollicht is er nog een ander nachtelijk lichtverschijnsel: het diffuse nachthemellicht. Dit is in de regel zo zwak, dat het niet met het blote oog kan worden waargenomen, maar alleen met speciaal lichtsterke optische instrumenten fotoëlectrisch gemeten en geregistreerd kan worden. Het is altijd, maar met wisselende intensiteit aanwezig en schijnt de aarde in de hoogste dampkringslagen geheel te omsluiten. Het nachthemellicht is het gevolg van fotochemische reacties, die overdag door kortegolf-zonnestraling veroorzaakt worden: het ultraviolette zonlicht splitst op grote hoogten moleculen in atomen en slaat electronen weg uit de atomen. Door deze dissociatie en ionisatie van de atmosferische gassen wordt overdag energie opgezameld, die 's nachts door het weer samenkomen van de deeltjes, de recombinatie, als licht uitgestraald wordt. Daar de sterkte van de solaire ultraviolette straling wisselt, wisselt de intensiteit van dit nachthemellicht eveneens met de dag.



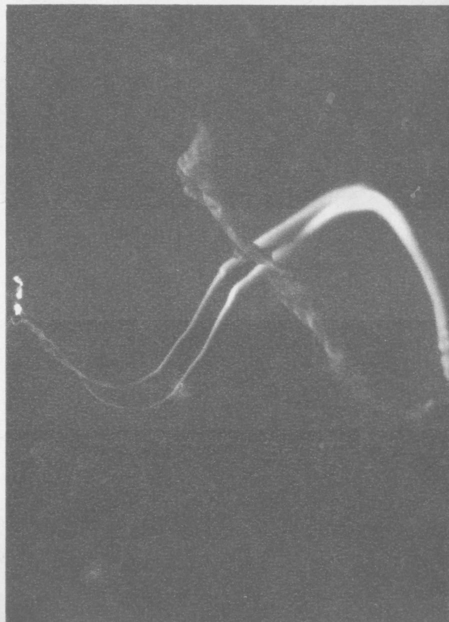
47 · Kleurenfoto van noorderlicht op lagere breedten.



48 · De pyramide van het zodiakaallicht (zodiak = dierenriem). Tijdens de korte morgen- en avondschemering in de tropen het gehele jaar zichtbaar. Op onze breedte is het het best te zien in februari en maart aan de westelijke hemel na zonsondergang en in september en oktober aan de oostelijke voor zonsopgang.

Het zodiakaallicht is zonlicht: dit verstrooit zich over een stofring van interplanetaire materie en over vrije electronen. Waarschijnlijk wordt de uiterste voortzetting van de corona als zodiakaallicht zichtbaar.

49/50 · Slierten van natriumdamp die door de V. St. 100 km hoog in de dampkring gebracht waren. De geofysicus kan de hoge lagen van de atmosfeer als een reusachtig laboratorium beschouwen, waar zijn proeven door geen enkel storend naburig oppervlak gehinderd worden. Twee jaar voor het IGY werd door raketten natrium in atoomvorm op hoogten tussen 100 en 200 km uitgeblazen, om het lichten van de dampkring kunstmatig voort te brengen. Er ontwikkelden zich zeer bestendige natriumslierten, die door de ultraviolette zonnestraling geel fluorescerend gingen gloeien en gegevens over windsnelheden en -richtingen op grote hoogten verschaften. Later werd op 480 km hoogte een atoombom tot ontploffing gebracht, die een nieuwe stralingsgordel en storingen van het aardmagnetisme en de ionosfeer verwekte.



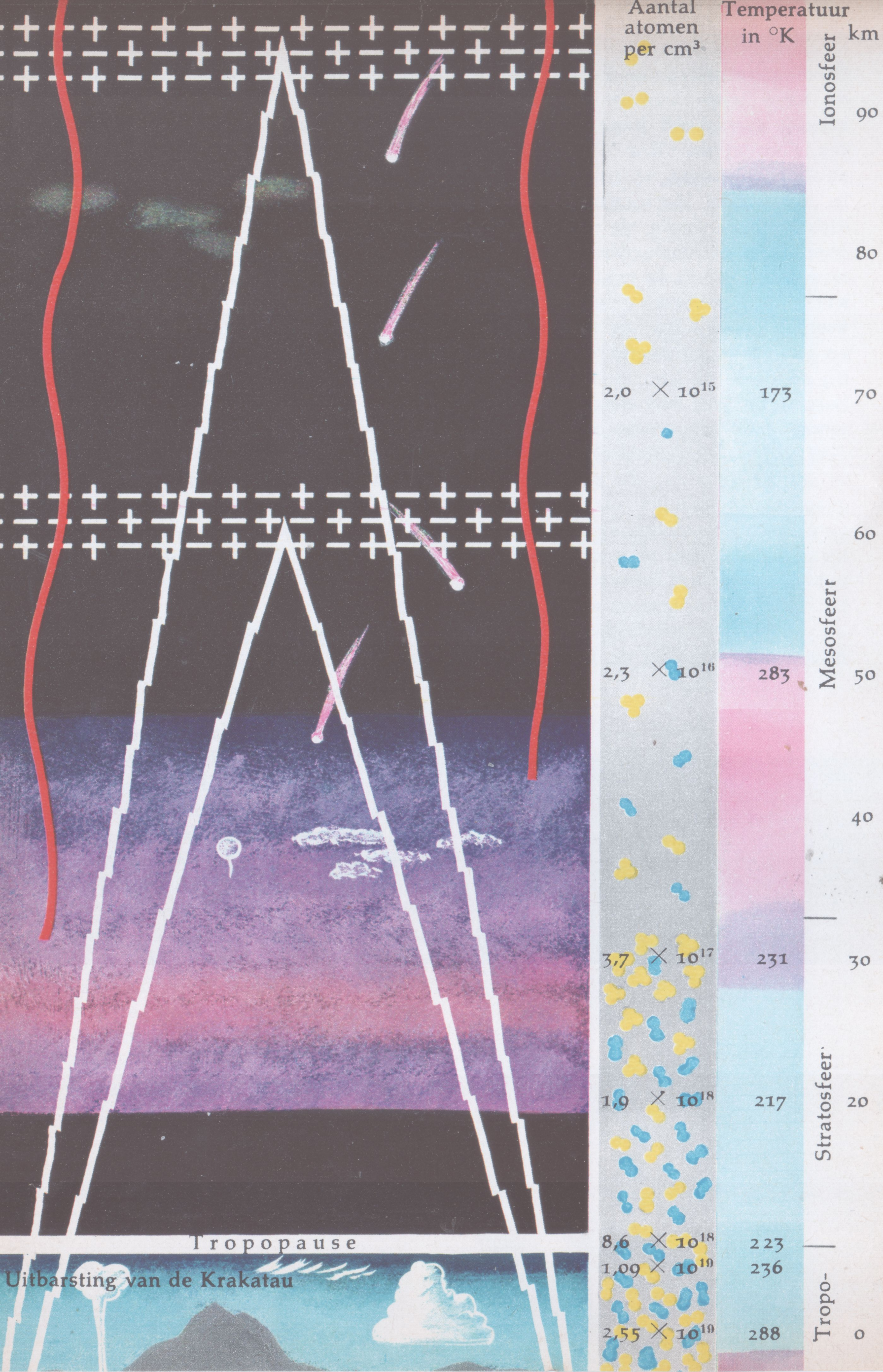


De temperaturen in de dampkring. In de hoge lagen van de dampkring heersen verrassend hoge temperaturen, doordat de ultraviolette zonnestraling de gassen verhit.

In de diepste dampkringslaag, het dichtst bij de aarde, de voortdurend door elkaar geroerde, waterdamprijke troposfeer, neemt de temperatuur per km stijging ongeveer 6° af. Op 20 km bereikt zij min 40 tot min 80° C. en van 30 km af neemt zij weer toe. Bij ongeveer 50 km, in de ozonlaag, bereikt ze weer een maximum. Hier wordt door ultraviolet zonlicht een deel van de zuurstofmuleculen (O_2) in atomen gesplitst, die zich met niet gesplitste moleculen tot ozon (O_3) verenigen. De ozonlaag absorbeert nu al het ‹nabije› ultraviolet — d. i. het direct aan het kortegolf-eind van het zichtbare spectrum aansluitende ultraviolet — en wordt daarbij verhit. Boven die laag zakt de temperatuur snel en bereikt bij ongeveer 80 km aan het begin van de ionosfeer, haar laagste waarde: min 80° C. Van daar af wordt het voortdurend warmer: op 200 km is het 1.200° K (Kelvingraden worden van het absolute nulpunt af geteld: 0° K = min 273° C.), op 600 km 's middags 2.200° K, 's nachts daarentegen maar 1.200° K.

Deze hoge temperaturen willen niet zeggen dat een in zo'n gebied gebracht lichaam, een satelliet b. v., ook zo heet zou worden. De temperatuur van een satelliet wordt bepaald door de geabsorbeerde zonnestraling en de door hemzelf uitgestraalde energie. Door speciale verf op de mantel kan er binnen volkomen kamertemperatuur heersen. De warmtegeleiding van en naar het omringende gas speelt wegens de geringe gasdichtheid in vergelijking met de straling geen rol.

Metingen met raketten en satellieten hebben aangetoond dat de dichtheid van de hoge dampkringslagen veel groter is dan men dacht, en wisselt met dag en nacht. Op 300 km hoogte komt de gasdichtheid overeen met het beste hoogvacuum dat wij kunnen teweegbrengen. Ondanks deze geringe dichtheid ondervinden de satellieten een weerstand die ze langzamerhand zo zeer afremt, dat ze in de dichtere lagen duiken en daar vergloeien. Uit die remwerking kan ook de dichtheid van de dampkringsresten berekend worden. Daarbij bleek dat die wisselt met de zonneactiviteit. Deze waarneming kan daardoor verklaard worden, dat de bovenste dampkringslaag door de invloed van de kortegolf-zonnestraling uitzet.

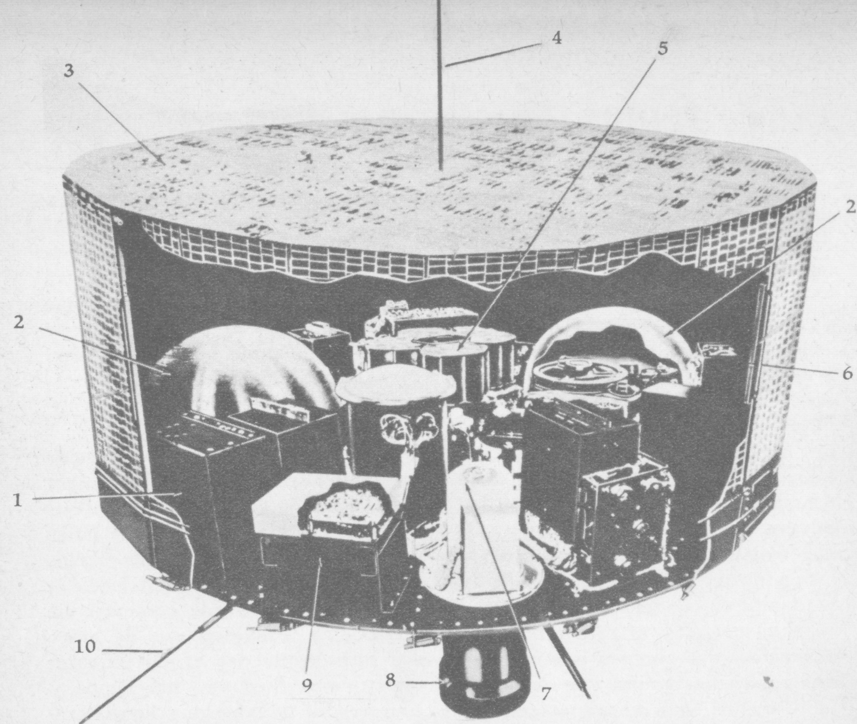


V

DE ONDERSTE LAGEN VAN DE DAMPKRING

De bouw van de onderste lagen van de atmosfeer. De aarde is omgeven door een gasmengsel: 78% stikstof, ongeveer 21% zuurstof, ongeveer 1% andere elementen. De het dichtst bij de aarde liggende dampkringslagen – troposfeer en stratosfeer – hebben geen constante hoogte. De overgangslaag tussen beide, de tropopause, – het koudste deel van de dampkring – ligt boven de evenaar 17 à 18 km hoog, boven de polen tussen 6 en 8 km. De stratosfeer reikt tot 80 km hoogte.
De troposfeer is in voortdurende beweging: er stijgt en daalt lucht, er verdampt en condenseert water, er is wind en neerslag, er zijn wolken. De stratosfeer daarentegen is bijna wolkenloos en heeft niets van de turbulente onrust van de troposfeer. Op 20 à 24 km hoogte ligt de sterkste concentratie van de ozonlaag, die alle levende wezens beschermt tegen ultraviolette stralen, de ultrarode stralingstoestand van de diepere lagen bepaalt en het ‹broeikaseffect› van de dampkring versterkt.
De nu en dan optredende iriserende parelmoerwolken zweven ongeveer 30 km boven het aardoppervlak. In de hoogste stratosfeerlaag, de mesosfeer, vergloeien al micrometeoren.
De zon maakt het weer. De zonnestralen die wij als lichtstralen zien, dringen door de dampkring, de aarde vangt ze op en geeft ze langzamerhand als warmte weer af. De zon verwarmt dus niet rechtstreeks van boven af de waterdamphoudende atmosfeer. Als een broeikas laat de luchtmantel van de aarde het zonlicht binnenkomen, maar hij laat de langegolf-warmtestralen niet weer ontwijken.
De van de grond uit verwarmde lucht stijgt op – deze beweging is het sterkst aan de equator – en heeft de neiging, in de richting van de polen weg te stromen, terwijl de koude poollucht de ‹lege› ruimten vult. De draaiing van de aarde verstoort die eenvoudige kringloop van de lucht: een luchtdeeltje dat aan de equator onder de invloed van het temperatuurverschil in beweging komt, probeert het rotatiemoment dat de aardwenteling het heeft meegegeven te behouden. Bij verplaatsing naar het noorden, dus naar streken met geringere omwentelingssnelheid, zou het een extra bewegingscomponent west-oost krijgen, zodat het weldra in zuiver oostelijke richting gedraaid was. Zo zou een deeltje uit het poolgebied een westelijke richting aannemen.
Reeds deze schematische beschouwing leidt tot de conclusie, dat de kringloop van de lucht met omvangrijke plaatselijke wervelingen gepaard gaat. In werkelijkheid bestaat er een buitengewoon ingewikkelde (verg. afb. 59 en 60) samenhang van verschillende stromingssystemen (circulatiewielen), horizontale en verticale.

51 · De bouw van de lagere dampkring. Rechts zijn het aantal atomen per cm³, de temperaturen in Kelvin en de hoogten in km ingevuld.



52 · De eerste weersatelliet Tiros I, die 1 april 1960 met televisie-camera's uitgerust tot boven 700 km hoogte werd geschoten om wolkendekken van wereldformaat als foto's naar de grondstations door te geven. 1. camera-electronica, 2. magnetobanden, 3. zonnecellen, 4. ontvangstantenne, 5. chemische batterijen, 6. electronische uitrusting van de magnetofoon, 7. Vidicon-beeldversterker, 8. objectief van de groothoek-camera, 9. televisiezender, 10. zendantennes. Op de eerste weersatelliet volgden er nog drie, die ook met infraroodcamera's voor infrarode stralen waren uitgerust, om de warmtehuishouding van de aardbol te onderzoeken.

53 · Start van de ballon ‹Man high› in augustus 1957, met majoor D. Simons, die een hoogte van 31 km bereikte. Om de ballon tegen zijwind te beschermen, werd hij uit een open ertsgroeve in Minnesota opgelaten.

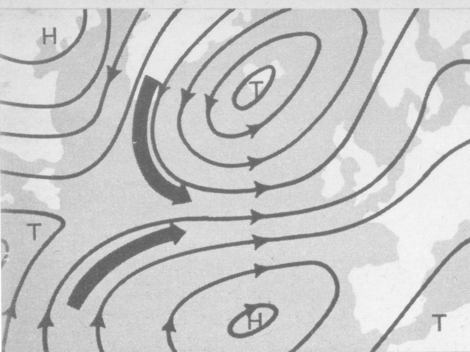
De meteorologie wordt door het inzetten van weersatellieten later wellicht gerevolutioneerd. Toch zijn de met radiosonden — waarmee temperatuur, luchtdruk en vochtigheid gemeten worden — uitgeruste weerballons niet overbodig geworden. Ze blijven vooreerst de grondslag voor het doorlopende onderzoek van het weer in de troposfeer en de constellatie in de lagere stratosfeer.

54 · Voordat er nog een weersatelliet gestart was, hadden de meteorologen al een nauwkeurige voorstelling van de mogelijke fotoresultaten van de onderneming. Ze tekenden het beeld van de weerstoestand boven het Zuidwesten van de V. St. op een junidag, zoals, naar hun mening, een telefoto van 6.400 km af zou kunnen tonen: grote wolkenmassa's met drie stormen die zich van de Hudsonbaai (Canada) naar Texas uitbreiden *(rechts op de afb.; links:)* een andere ‹stormfamilie› die van de golf van Alaska zuidwestwaarts trekt; *rechts beneden* een hurricane in volle ontwikkeling boven West-Indië, boven de oceanen massa's stapelwolken, door passaatwinden voortgedreven.

Een waarlijk profetisch beeld, want korte tijd later hadden al drie Tiros-satellieten meer dan 50.000 telefoto's met wolkformaties aan de grondstations gestuurd. Tiros I ontdekte meteen in de eerste dagen van zijn omlooptijd een storm boven Nebraska en verscheidene stormen boven de Atlantische en de Stille Oceaan. Tiros III wees 20 juli 1961 de positie aan van de orkaan ‹Liza›, zodat er tijdig waarschuwingen gegeven konden worden; 7 augustus registreerde hij twee stormcentra ten zuiden van Hawaii in een gebied dat zelden door taifoens wordt geteisterd.

In 1964 zal er een volkomen ontwikkelde meteorologische dienst met satellieten en een volledige grondorganisatie bestaan. Een hele reeks om de aarde cirkelende observatoria met televisie- en infraroodcamera's nemen dan het weer op alle punten van de aarde waar, in alle jaargetijden en gedurende lange perioden.

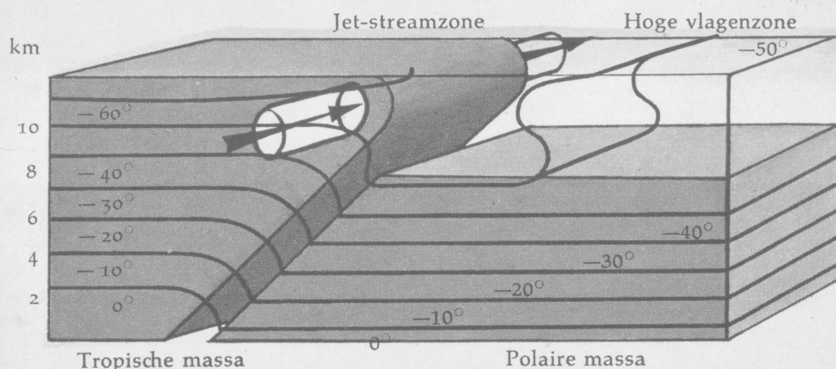




55 · Luchtdrukverdeling boven het midden van de Atlantische Oceaan, die een jet-stream doet ontstaan. Subtropische warme lucht uit het Zuiden (onderste pijl) stoot op uit het Noorden opdringende polaire lucht (bovenste pijl).

56 · Blokdiagram van een schematische vertikale doorsnee, dat de toestand van de atmosfeer bij een jet-stream aanschouwelijk voorstelt. Het gebied van de jet-stream ligt boven het schuin naar boven verlopende frontvlak in de lichte, warme tropische luchtmassa; daar heerst een uiterst sterke, maar gelijkmatige en bestendige stroming.

Fronten en jet-streams. De temperatuurdaling van evenaar naar pool verloopt niet gelijkmatig, maar is geconcentreerd in de gematigde zones. Daar treden dus polaire en tropische luchtmassa's met elkaar in wisselwerking. Het grensgebied waarin de strijd tussen de tegengestelde luchtmassa's zich afspeelt, en in de buurt waarvan daardoor het veranderlijke weer heerst, heet ‹front›. Al naar gelang in een frontgedeelte de warme of de koude lucht opdringt, neemt het het karakter van een warmte- of van een koudefront aan (afb. 61 en 62). Door de sterke temperatuurverschillen in hoge luchtlagen constateert men in zulk een frontzone een sterke toeneming van de luchtbeweging in evenredigheid met de hoogte. Dit frontale gebied van harde wind neemt in de bovenste troposfeer een bijzonder markante vorm aan: de ‹jet-stream›.
Dit is een nauwe stroombuis met uiterst hoge windsnelheden (tot 600 km/h) onder de tropopause. De bijna windkanaalachtige vorming van de vrije jetstream veroorzaakt sterke zijwaartse en verticale windveranderingen, die — zoals pas in de laatste tijd ontdekt is — dikwijls oorzaken





57 · Gemiddelde rangschikking van de jet-streams op het noordelijk halfrond in de winter. Tegenover de bestendiger ligging van de subtropische jet-stream is die van de gematigde breedten intensiever en meer aan richtingsschommelingen onderhevig.

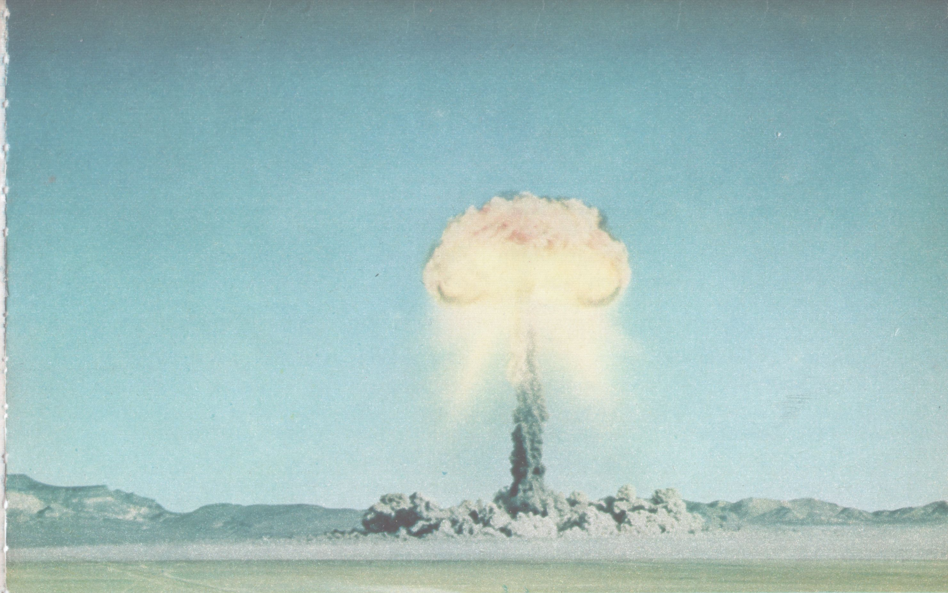
van rukwinden zijn. Dit is daarom zu merkwaardig, omdat rukwinden tot dusver als een verschijnsel beschouwd werden dat in de onderste en middelste troposfeer thuishoorde en bij luchtstromen in gebergten.
De gemiddelde rangschikking van de jet-streams op *afb. 57* doet het bestaan van een gesloten, de aarde bijna als een zone omslingerende jet-streamband vermoeden. In werkelijkheid bestaat ook een jet-stream altijd uit stukken. Vooral de met het ‹poolfront› in de gematigde streken verbonden jet-stream blijkt zich van de ene dag op de andere aanmerkelijk te verplaatsen en sterk af te wijken van de overheersende west-oostelijke tendens.
De kracht van de jet-streams vertoont een jaarrythme overeenkomstig het wisselende temperatuurverval tussen equator en pool. 's Winters zijn de jet-streams sterker dan 's zomers en liggen ze iets zuidelijker.

Uitwisseling van luchtmassa's tussen stratosfeer en troposfeer. De weersatellieten geven het wolkenpatroon boven een groot gebied, van boven gezien, weer. Verticale circulaties in de dampkring en stromingen in de waterdampvrije en wolkenloze regionen der stratosfeer blijven voor ze verborgen. Maar juist van de kennis van de uitwisseling der luchtmassa's tussen stratosfeer en troposfeer verwacht men nieuw inzicht in het meteorologische proces.

Bijna tot 1950 was het stof dat bij vulkanische uitbarstingen de atmosfeer in geslingerd werd, de enige kennisbron voor de meteorologen omtrent de circulaties in de hoge lagen. De aerosol (fijnste zweefstofdeeltjes van de vulkanen) die daarbij in de stratosfeer kwam, diende als optische indicator voor het luchttransport in de stratosfeer en van de stratosfeer naar de troposfeer. In 1783 ontplofte de Lakispleet op IJsland. De stofwolken trokken over de hele aarde; er vormde zich rook op grote hoogte waarin ‹groene zonnen en loodkleurige manen› verschenen; de gemiddelde temperatuur op aarde daalde — volgens latere schattingen — een halve graad. In 1815 barstte de Temboro op de Soendaeilanden uit. De stofwolken en het tot as geblazen gesteente cirkelden op grote hoogte om de aarde, in het volgende jaar bleef de temperatuur in verschillende streken aanmerkelijk onder normaal, het was ‹het jaar zonder zomer›. In 1883 ontplofte de Krakatau in Straat Soenda. De as bleef lang in de stratosfeer hangen.
In 1912 vloog in Alaska de Katzmai de lucht in. Het stof zwierf vele malen de aardbol om en veroorzaakte eveneens plaatselijke temperatuurdalingen.
Tot allergrootste zorg voor de mensheid werden sedert 1945 kernwapens tot ontploffing gebracht — de meteorologen konden de radioactieve wolken voor vreedzame doeleinden gebruiken.

Bij de observatie van radioactieve wolken konden de meteorologen allereerst constateren: de methoden die tot dusver gebruikt waren om de beweging van de luchtmassa's in de atmosfeer te volgen en te voorspellen, bleken juist. Maar toen de grote thermonucleaire wapens radioactieve wolken in de stratosfeer brachten, tekende er zich een heel nieuw terrein van onderzoek af. De splijtingsproducten werden in de stratosfeer gedeponeerd en konden gebruikt worden als ‹tracer› om de luchtverplaatsing over grote gebieden te onderzoeken. De door de tracertechniek verworven inzichten werden met de bestaande theorieën vergeleken, en de betekenis van de massale luchtuitwisseling tussen strato- en troposfeer werd opnieuw nagegaan.
De paddestoelwolken bij atoomexplosies bereikten vaak een tophoogte van 35 tot 40 km. Daardoor raakten de splijtingsproducten — evenals de as van de Krakatau — aan de bovenste grens van de stratosfeer.

De radioactiviteit verdeelt zich over de kleinste deeltjes (van kiezelzuur, krijt of metaaloxyden) in de atmosfeer. Zij dragen alle (ca.) 70 splijtingsproducten, die bij atoomproeven ontstaan. Hun valsnelheid in het zwaartekrachtveld van de aarde is zeer gering. De fijnste radioactieve stofdeeltjes op de grootste hoogten kunnen practisch onbegrensde tijden blijven zweven. Als tracer heeft men vooral het bestendige strontium 90 of radiostrontium, dat met zijn halfwaardetijd van 30 jaar zeer lang in de stratosfeer zou kunnen vertoeven. Splijtingsproducten komen door neerslag weer op aarde terug. In de equatoriale streken met de grootste hoeveelheden neerslag zouden zich ook de grootste hoeveelheden bestendige radioactieve deeltjes moeten afzetten. Dit is echter niet het geval: op middelbare en hoge breedten van het noordelijk halfrond werd een maximum aan radiostrontiumconcentratie vastgesteld. Er moet hier melding gemaakt worden van de onderzoekingen van F. Flohn en H. Reifferscheidt: op breedten van 20 tot 70 graden en hoogten van 5 tot 18 km overweegt een westelijke stroming. De jet-streams maken er deel van uit. In het jet-streamgebied veroorzaken versnellingen en vertragingen oplossing en reconstructie van de tropopause. In dit breukgebied liggen een diepe polaire en een hoge tropische tropopause boven elkaar. Er wordt steeds polaire lucht uit de stratosfeer geruild tegen tropische uit de troposfeer. In de loop van 1 tot 2 jaar wordt alle lucht uit de stratosfeer uitgewisseld tegen lucht uit de troposfeer. De met radioactief materiaal ‹verrijkte› stratosfeerlucht geraakt als «in tijd en ruimte begrensde pakketten» door horizontale bewegingen in de troposfeer «waar hij vooral aan de koude, polaire kant door de regen naar beneden komt». In de equatoriale zone is zeer geringe horizon-



58 · Atoombomontploffing in de woestijn van Nevada.

tale luchtvermenging, waardoor waarschijnlijk op het zuidelijk halfrond minder fall-out is, daar de kernproeven op het noordelijk halfrond plaats hadden. De massale uitwisseling van lucht van pool tot pool geschiedt ongeordend en niet symmetrisch, ondanks een aangenomen ideaal gemiddelde van een «in het tijdsverloop en over hele breedtezones vastgesteld ‹gemiddeld meridionaal circulatiewiel›».

«Ongetwijfeld bevindt het onderzoek van deze samenhangen zich nog in het eerste stadium, maar men kan al onderscheiden dat de tracertechniek een reeks problemen die tot dusver ternauwernood aangepakt konden worden, tot een in getallen uitgedrukte oplossing kan brengen. Dit geldt vooral van de meteorologie der lagen boven 25 tot 30 km, waar het aantal directe waarnemingen tot nog toe allerminst voldoende was.» (Flohn-Reifferscheidt)

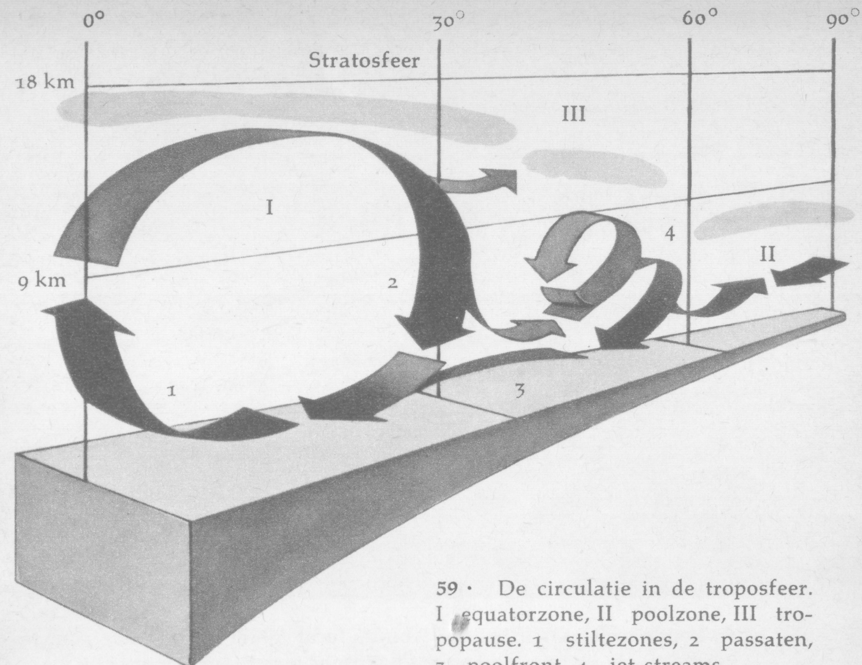
Men hoopt zo, met behulp van de tracertechniek de massale luchtverplaatsingen en de wetmatigheden daarvan te leren kennen. Indien dat gelukt, zullen ook de wolkenfoto's van de weersatellieten beter kunnen worden begrepen, nauwkeuriger worden geanalyseerd en doelmatiger worden gebruikt voor de weersvoorspelling. Toch kan de tracertechniek slechts bij uitzondering, als aanvullende methode, gebruikt worden.

Warmtehuishouding en kooldioxyde. Een essentiële eigenschap van de warmtehuishouding der aarde is haar vermogen, de langegolf-uitstraling van haar oppervlak gedeeltelijk op te vangen. Hierbij zijn vooral de in de lucht aanwezige waterdamp en het kooldioxyde (CO_2) betrokken, al maakt dit laatste ook slechts 0,03% van het gasmengsel der atmosfeer uit.

Een verandering van het CO_2-gehalte leidt via een veranderde stralingsabsorptie der aarde tot een verandering van haar gemiddelde temperatuur. Men schat dat een verdubbeling (resp. halvering) van het CO_2-gehalte een stijging (resp. daling) van de gem. temperatuur van 2 à 3 graden C. ten gevolge zou hebben, en hierop tracht men een nieuwe theorie over de prehistorische klimaatschommelingen en de ijstijden te grondvesten.

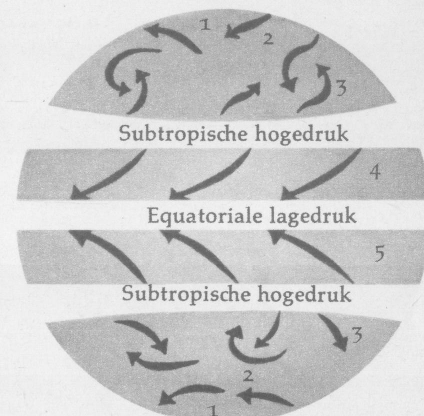
Actueel is het probleem, omdat de sterke toeneming van verbrandingsprocessen ten gevolge van de industrialisering een gestadige verhoging van het CO_2-gehalte meebrengt, wat een gestadige temperatuurstijging zou moeten meebrengen. Als deze nog geenszins zekere hypothese bevestigd kon worden, zou men aldus kunnen redeneren: de mensheid voert door de huidige roofbouw op steenkool en olie de in de loop van miljoenen jaren gebonden atmosferische koolstof in korte tijd (geologisch gesproken) weer toe aan de atmosfeer en onderneemt daardoor het gigantische experiment van een fundamentele klimaatverandering.

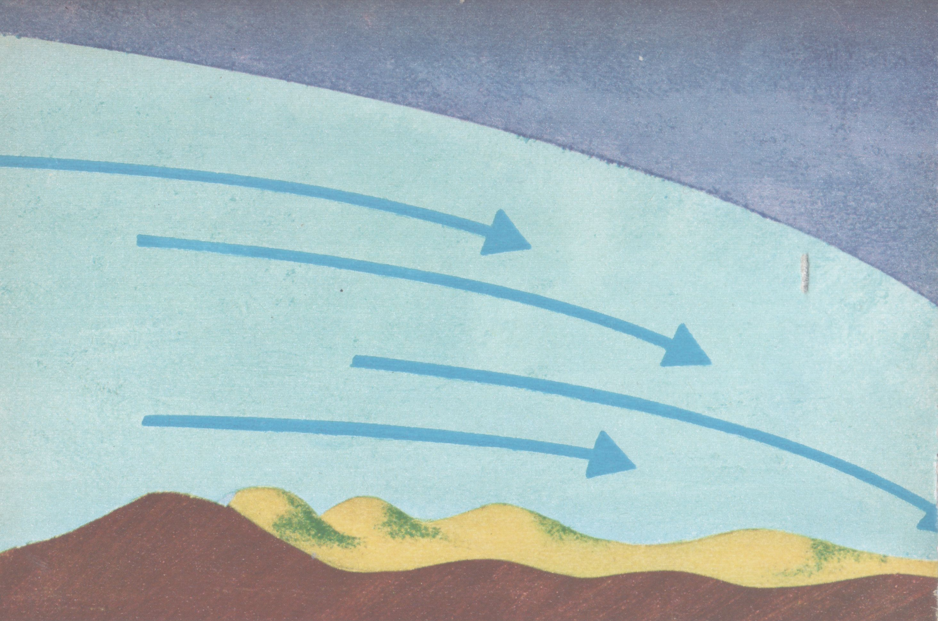
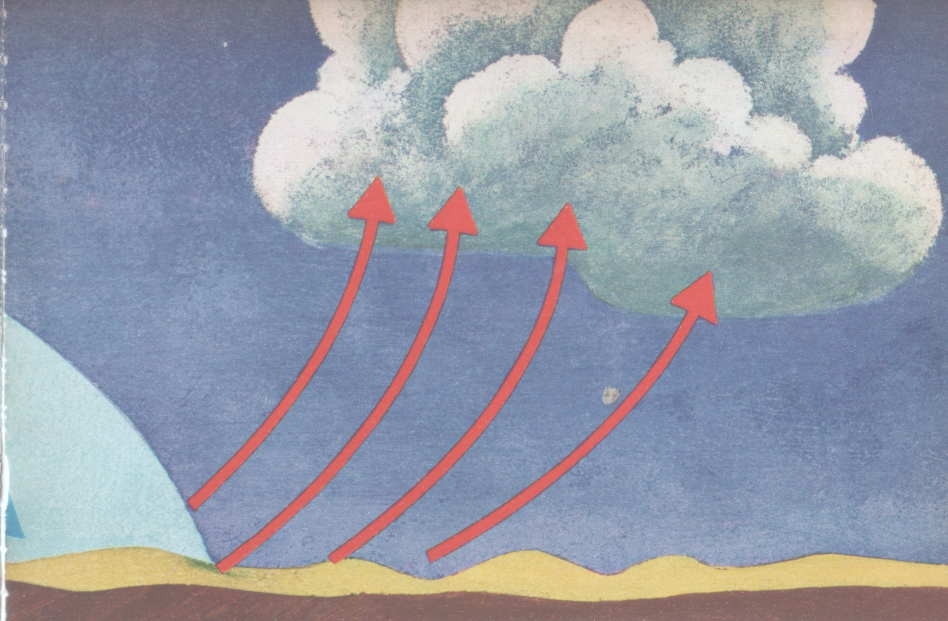
De satellieten geven nu voor het eerst de mogelijkheid, met behulp van meetcellen voor de ultrarode straling de nachtelijke warmtestraling van de aarde van buiten-af te meten en zo haar stralingshuishouding nauwkeuriger te onderzoeken en te bewaken.



59 · De circulatie in de troposfeer. I equatorzone, II poolzone, III tropopause. 1 stiltezones, 2 passaten, 3 poolfront, 4 jet-streams.

60 · Schema van de luchtdrukgordels op de aardbol. Boven de equator stijgt de lucht op en stroomt weg in de richting van de polen. De draaiing van de aarde buigt de luchtmassa's oostwaarts af: antipassaat. Op de paardenbreedten (ca. 30—35° N. en Z. B.) wordt de tropische lucht westenwinden, daalt en stroomt als passaat naar de evenaar terug. Afwisselende hoge- en lagedrukgebieden met overheersende westenwinden kenmerken de gematigde zones.
1 polair hogedrukgebied, 2 lagedrukgebied van de gematigde streken, 3 veranderlijke westenwinden, 4 NO-passaat op het N. halfrond, 5 ZO-passaat op het Z. halfrond. ▷



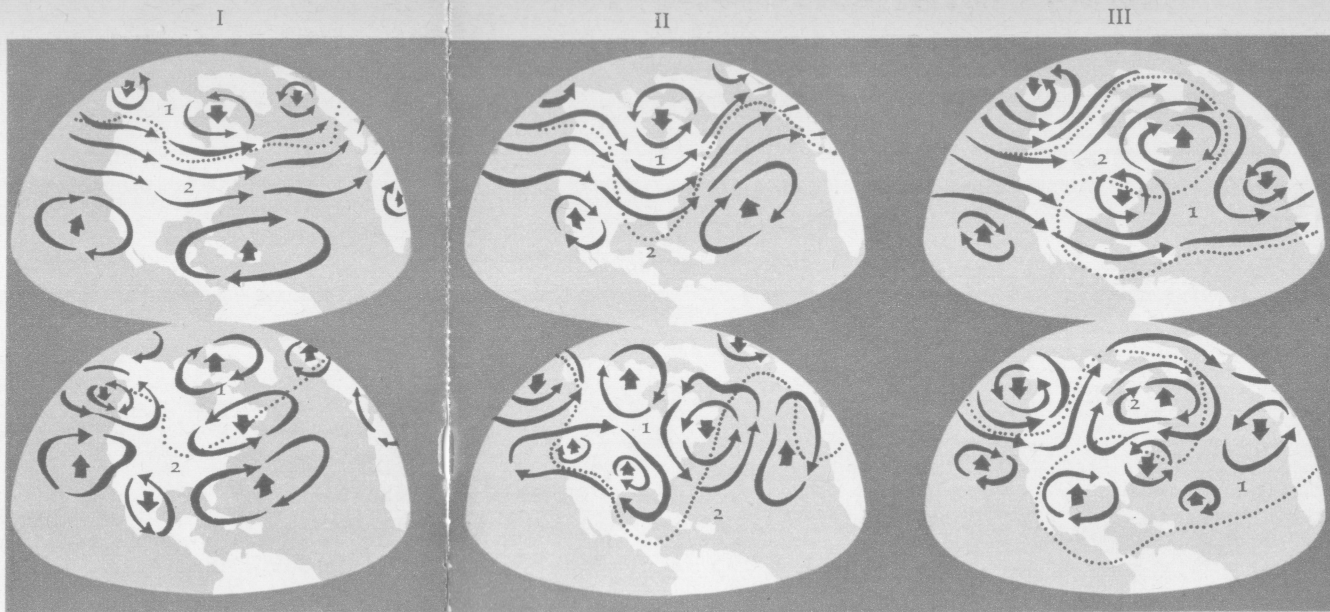



△ **61** · Een koudefront. Opdringende koude lucht glijdt onder een warme luchtlaag. De warme lucht wordt daardoor opgetild en koelt af.

62 · Bij een warmtefront stroomt de warme lucht tegen de er voor liggende koude lucht op. Er ontstaat bewolking en neerslag. ▽




De meteorologische dienst van morgen. In 1963 zal een nieuw model satelliet, de Nimbus, de aarde in een door de aardas gaand vlak omcirkelen, terwijl zijn camera's voortdurend naar de aarde gericht blijven. In 1965 of 1966 zal een andere satelliet, Aëros, ongeveer 36.000 km boven de evenaar eens in de 24 u. om de aarde draaien. «Hij zal dus constant boven een bepaald punt van de equator gefixeerd schijnen. Van vier zulke satellieten uit zou de hele aarde behalve de poolstreken te allen tijde te overzien zijn.» (Lufkin)
Met dit ontworpen ‹Tiros-Nimbus-Aëros-programma› zal over enkele jaren de satellietenweerdienst aan alle meteorologische stations op aarde wolkenfoto's van planetaire uitgestrektheid voor weersvoorspelling over grote gebieden ter beschikking stellen. Het fotomateriaal wordt tot weerkaarten verwerkt, die samen met stormwaarschuwingen via weerberichtkanalen verspreid worden.
Sedert midden april 1962 bestaat er een wolkenkaartendienst, die de foto's van de Tiros IV verwerkt en doorgeeft. Honderd landen, leden van de wereldorganisatie voor meteorologie, waaronder Rusland, krijgen de verwerkingen als open inlichtingen. Buitengewone betekenis zullen de satellietwaarnemingen krijgen voor de ontdekking van hurricanes en taifoens: men zal kunnen onderscheiden «of zulke wervelingen onschadelijk verdwijnen of zich tot een van de gevreesde orkanen zullen ontwikkelen. Slechts tijdige voorspelling zal het mogelijk maken, schade te voorkomen in een dusdanige omvang, dat de uitgespaarde kosten die van jarenlang ijverig ruimteonderzoek ver zullen overtreffen». (Lufkin)



63 · Drie hoofdtypen van weersgesteldheden op grote schaal, die in hun onregelmatige afwisseling karakteristiek zijn voor het weer op onze breedten.
Onderste rij: stromingstoestand en luchtdrukverdeling bij het aardoppervlak.
Bovenste rij: de overeenkomstige situatie in de troposfeer tussen 3 en 8 km hoogte, die bijna altijd evenwichtiger over groter ruimten heerst.

1: koude luchtmassa's, 2: warme luchtmassa's. Winden met de klok mee: hogedrukgebieden, winden tegen de klok in: lagedrukgebieden.

I Polaire lucht in het N. en tropische lucht in het Z. vormen in de gematigde breedten het ‹polaire front›.
Boven: over een groot gebied westenwinden langs de breedtegraden om een polair lagedrukcentrum. Windstroom die de luchtdrukverdeling en de storingen der lagere lagen bepaalt.
Onder: Tussen een sterke gordel hogedrukgebieden in de subtropen en een polair hogedrukgebied wisselen op de gematigde breedten in de buurt van het polaire front zich verplaatsende hoge- en lagedrukgebieden. Veranderlijk weer.

II Polaire lucht breidt zich breed uit naar het Z., aan de flanken stroomt warme lucht naar het N. De heersende westelijke luchtstroom wordt vervangen door een ‹meridionale circulatie›.
Boven: Met de opdringende warme en koude uitlopers corresponderen krachtige hoge- en lagedrukgebieden.
Onder: Hogedrukgebieden breiden zich op hogere breedten uit. De afzonderlijke lagedrukstoringen verplaatsen zich met sterke componenten naar het Z. en N.

III Totale afsnoering van grote warme en koude luchtmassa's van hun oorsprong.
De normale luchtdrukverdeling is zwaar gestoord.
Boven: bestendige, met warme lucht opgevulde hogedrukgebieden tot op zeer hoge noordelijke breedten; koude luchtmassa's vormen sterke lagedrukcentra tot op subtropische breedten.
Onder: Bijna stabiel hogedrukgebied, dat de wind in zijn buurt enige tijd lang bepaalt. Langdurige koude- en warmteperioden.

VI

ORKANEN EN ONWEDERS

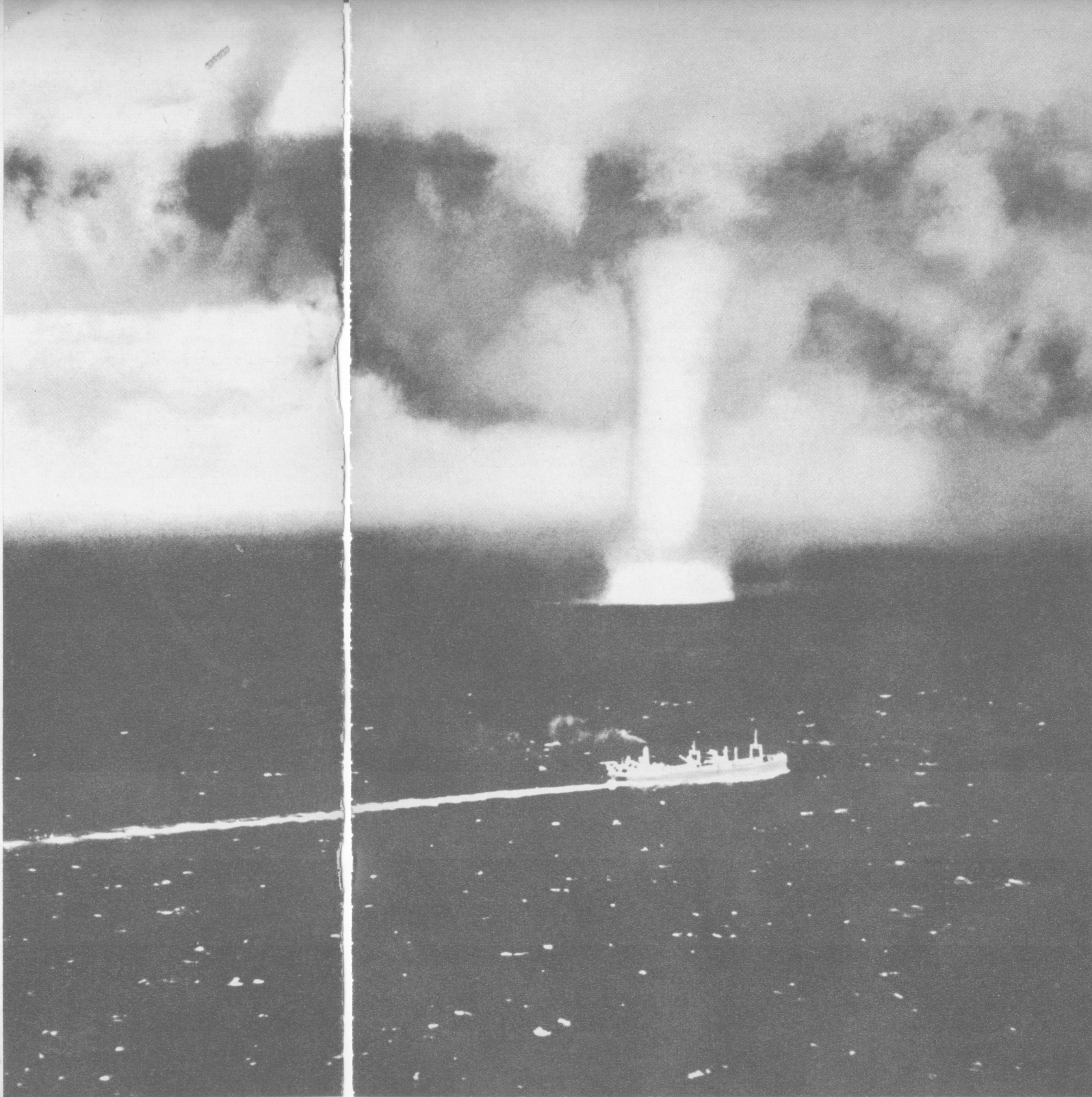
Tropische cycloon, hurricane, taifoen. Dit zijn verschillende namen voor hetzelfde natuurverschijnsel: wervelstormen, die in de nazomer en vroege herfst boven de tropische zeeën ontstaan — taifoens ontstaan in de equatoriale streken van de Stille Oceaan en trekken over de wateren van Zuidoost-Azië, cyclonen ontstaan in het noorden van de Indische Oceaan, hurricanes in de Atlantische voor de kusten van de zuidelijke staten en Midden-Amerika. Er stoten luchtmassa's van uiteenlopende temperatuur en vochtigheid op elkaar boven de zeespiegel en in de hoogte: warme lucht die boven de subtropische zeeën opstijgt, koude hoge lucht die van het winterhalfrond over de equator wegstroomt, koude polaire lucht, die aan de Oostkant van Azië en Amerika naar de evenaar vloeit. De grote tegenstellingen in temperatuur zijn de oorzaak van even grote tegenstellingen in druk, en van hoogtewinden. Door het hoge waterdampgehalte van de lucht wordt de atmosferische situatie labieler, kleine storingen kunnen in korte tijd ruimtelijk begrensde maar vreselijke wervelstormen doen ontstaan. De lucht van een cycloon beweegt zich spiraalvormig naar het stormcentrum toe.

64 · Model en doorsnede van een cycloon met zijn centrum: het ‹oog›: wolkloos, windstil gebied, 25 km in doorsnee. Rondom die oase in het noodweer draaien lucht- en wolkenmassa's spiraalsgewijs.

65 · Foto van een waterhoos in de Stille Oceaan. De begrippen ‹trombe›, tornado, windhoos en waterhoos betreffen geheel eendere verschijnselen. Evenals de op het Amerikaanse vasteland optredende tornado's vormen de waterhozen zich van de wolken uit naar beneden. Met hun nauw begrensde, hevig draaiende buizen zuigen ze het water op. Zulke zuilen kunnen een doorsnee hebben van enkele meters af tot 300 toe. Maar ze ontwikkelen niet de enorme energie van de vastelandstornado's. Allebei ontstaan ze bij zeer warm, meestal windstil weer, al zijn er ook bij storm en op koude dagen wel waterhozen geconstateerd, als warme en koude lucht op elkaar stoten. Ziet men in waterhozen en tornado's hetzelfde verschijnsel, dan kan men zeggen dat er grote en kleine slurven voorkomen, van 300 km tot 300 m doorsnee en van 30 km tot 30 m hoogte; hoe dichter bij de tropen hoe geweldiger de energieontplooiing. Maar de alleen lokaal optredende tromben zijn met de ontzaglijke energieontlading van tropische cyclonen niet te vergelijken — hun doorsnede bedraagt het duizendvoud van een tornado.

66 · Van de gebergten van Nieuw-Zeeland rolt hier in een brede stroom een grootse valwindmassa dalwaarts.

Tot de merkwaardigste verschijnselen van bewegende lucht behoort de föhn: betrekkelijk warme en vochtige lucht stijgt aan de ene kant van het gebergte op, koelt af en valt daarna aan de andere kant van de barrière zeer snel in de diepte, waarbij hij warmer en droog wordt.

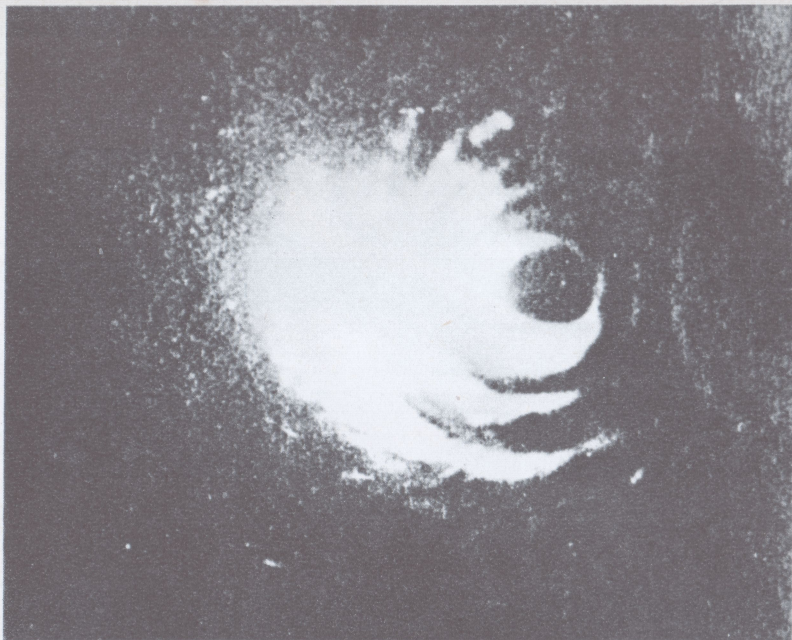






67 · Deze foto van Lucille Handberg (een grote trombe bij Jasper in Minnesota) gaat door voor de klassieke opname van een tornado.

De als een slinger zwaaiende trechter is duidelijk zichtbaar; de karakteristieke werveling daarvan veroorzaakt grote verwoestingen.



68 · Deze eerste radarfoto van het ‹oog› van een orkaan bracht een orkaanverkenning met vliegtuigen 18 december 1944 mee. Het windstille centrum of hurricane-oog werd boven de Stille Oceaan in de buurt van de Philippijnen opgenomen. Tijdens de vlucht viel zeer zware regen. Er werd een windsnelheid van 42 knopen (78 km/h) met uitschieters boven 75 knopen (139 km/h) gemeten.

69 · Schema van een onweerswolk met de verdeling van zijn electrische ruimtelading, zijn temperatuurstructuur, zijn stijg- en valwinden. Beziet men de verdeling van de electrische ruimtelading, dan kan men een onweerswolk, waarin waterdamppakketten, omhooggesleepte en vallende water- en ijsdeeltjes naast elkaar voorkomen, met een thermische machine vergelijken, die warmte in mechanische energie omzet. ▷

Onweders. Boven een door de zon bijzonder sterk verwarmde plaats van de aardbodem — vaak is het een apart staande berg — kolkt de warme lucht door de naburige koudere luchtmassa's heen met grote snelheid loodrecht naar boven. Ze breidt zich daarbij uit en koelt af.

Tussen 1500 en 2000 m hoogte begint de vochtigheid in de warme luchtstroom tot zeer fijne druppeltjes te condenseren, de karakteristieke bloemkoolvormige stapelwolken, de z. g. cumulonimbuswolken, vormen zich. Hoe hoger de warme luchtmassa's opstijgen, hoe meer condensatiewarmte er vrijkomt en hoe groter het temperatuurverschil wordt tussen de opstijgende luchtmassa en de omgeving, en hoe sterker de stijgwinden. Bij zeer zware onweders kan de stijgwind op 5 km hoogte een snelheid bereiken van 100 km/h. Door de onder de tropopause liggende nul-laag wordt de vertikale beweging gestopt.

De gecondenseerde waterdruppels vallen als regen op aarde zodra ze zo zwaar geworden zijn dat de stijgwind ze niet verder naar boven kan dragen. Maar als de onderkoelde waterdruppels ‹vrieskernen›, microscopisch kleine stofdeeltjes, raken, dan groeien ze snel tot kleine ijslichaampjes aan, andere onderkoelde druppels zetten zich er op af en maken ze groter. Die ijskristallen en ijsnaalden vormen het brede bovenste deel van de onweerswolk, het ‹aambeeld›. Zodra de stijgwind de ijslichaampjes niet meer kan tillen, vallen ze als hagel neer. Als ze tijdens het vallen verdampen komen ze als grote zware regen op de aarde.

Hoe de electrische ruimtelading in een onweerswolk verdeeld is, is in de laatste tientallen jaren vastgesteld. Er bevinden zich in een onweerswolk een ‹positieve kop› en een ‹negatieve basis› met een klein, er in ingebed ‹positief eiland›. Men kent echter de oorzaken van deze electrische ruimtelading en haar preciese werking nog niet. Ook staat de vraag nog open: hoe kan de bliksem van een onweerswolk grote afstanden afleggen en overbruggen zonder dat hij electrische velden ter beschikking heeft?

H. Dolezalek vatte de stand van het onweersonderzoek aldus samen: «Zo'n wolk bezit aanzienlijke hoeveelheden energie, maar die komt maar voor 1/10 000 voor rekening van de electrische verschijnselen. Dit lijkt wonderlijk omdat de bliksem het meest in 't oog loopt en wij bang zijn voor zijn verwoestende kracht. Maar men moet zich realiseren dat de door bliksems aan de omgeving afgestane en tenslotte in warmte omgezette energie, ondanks hoge topwaarden, geen erg hoog bedrag kan bereiken, als men de verhouding van de doorsnede van de bliksem tot die van de wolk in aanmerking neemt; terwijl daarentegen het optillen van zo'n geweldige hoeveelheid water tot een hoogte van een paar kilometer een aanzienlijke potentiële energie vertegenwoordigt. Het electrisch nuttig effect van de warmtekrachtmachine is dus zeer gering.»

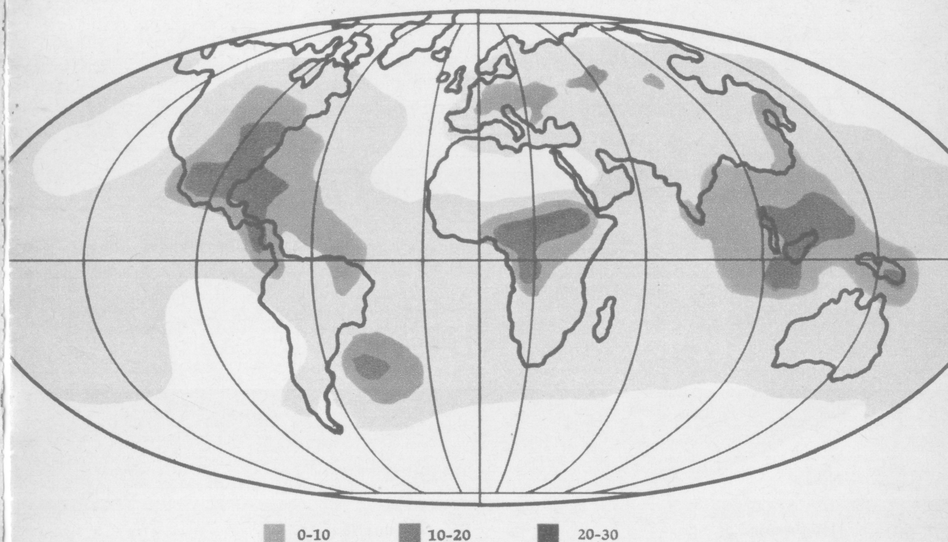
Onweersstatistiek. De meteorologen houden zich voortdurend bezig met het ontraadselen van de geheimen van het onweer, want zonder nauwkeurige kennis van alles wat met het onweer samenhangt, is er geen volledig inzicht in het meteorologisch gebeuren mogelijk.

De onweders behoren namelijk tot de veelvuldigste meteorologische verschijnselen: ieder jaar treden er op aarde ongeveer 16 miljoen onweders op, dus gemiddeld 1800 per uur. De frequentie verschilt van plaats tot plaats aanmerkelijk.
Gemiddeld onweert het in tropische landen op 40 tot 200 dagen per jaar een of meer malen. In gematigde streken, zoals Europa, op 10 tot 30 dagen, boven de oceanen op 5 tot 30 dagen, in de poolstreken nauwelijks eens per jaar.

Luchtelectriciteit. Elke seconde treffen 30 bliksems onze planeet. Maar dat is niet het enige electrische meteorologische verschijnsel: het hele weer heeft een ‹electrisch getint› verloop.

Het IGY bestudeerde vooral twee groepen problemen van de luchtelectriciteit: luchtelectriciteit en -uitwisseling, en luchtelectriciteit en de onweersactiviteit in de gehele wereld. De luchtelectrische verschijnselen staan in verbinding met het plaatselijke weer en met het weer op de hele aarde.
Bij luchtelectrische verschijnselen moet dus onderscheid gemaakt worden tussen de alleen plaatselijk bepaalde en de met het weer op de hele planeet samenhangende.

70 · De ruimtelijke verdeling van de onweders over de aarde.



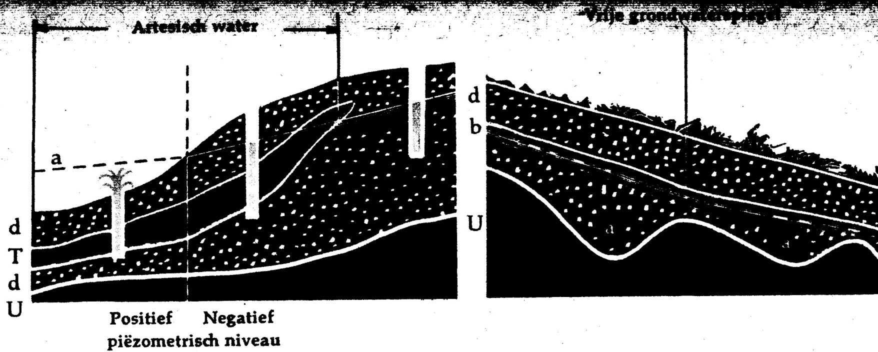


Koude zeestroming
Warme zeestroming

VERWERING EN WATER OP HET VASTELAND

Verwering. De geologische processen worden het sterkst beïnvloed door het klimaat: temperatuur, luchtverplaatsing, vochtigheid, neerslag, soort en hoeveelheid bewolking en het aantal uren zonneschijn bepalen de verwering, de kringloop van het water, de verwoesting en vlakwording van het oppervlaktereliëf en het transport van de gesloopte steenmassa's. Als het gesteente van het aardoppervlak stukgemaakt en verdeeld wordt, spreekt men van verwering. Alle krachten die van buiten af de buitenste aardkorst aantasten en vernielen, brengen de ‹grond› voort, aan de vorming waarvan ook levende wezens en vergane organische stoffen deel hebben.

71 · Klimaten en zeestromingen.
Nivaal: de polen en het met sneeuw en ijs bedekte hooggebergte. Humied: de gematigde zones en de tropen. Aried: zones met weinig neerslag aan beide zijden van de evenaar.
Warme zeestromingen: de Golfstroom in de noordelijke helft van de Atlantische Oceaan, de Koero Sjio-drift in de noordelijke helft van de Grote Oceaan, de Braziliëstroom voor de Braziliaanse kust, de Agulhasstroom voor de Zuidoostafrikaanse kust.
Koude zeestromingen: de Labradorstroom voor de noordoostkust van Amerika, de Californiëstroom voor de westkust van N.-Amerika, de Humboldt- of Perustroom voor de westkust van Z.-Amerika, de Benguelastroom voor de zuidwestkust van Afrika.



Grondwater. Onder grondwater wordt hier verstaan beweeglijk onderaards water dat door poreus gesteente in de aarde gedrongen is en in de poriën van de korrelige, fijngesleten gesteenten zit, in puin, zand, zandsteen, maar ook in kloven en spleten van vastere gesteenten.
Er bestaat ook onbeweeglijk onderaards water.

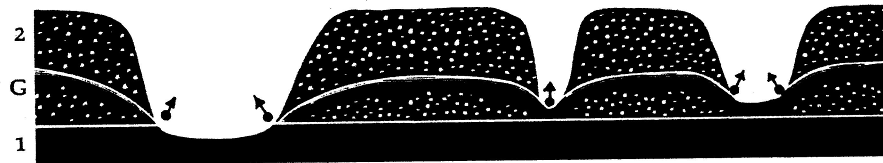
Alle grondwater heeft een bepaald invalsgebied, waar het zich door insijpeling vormt. De hoeveelheid hangt af van het oppervlak van dit gebied, van de hoeveelheid neerslag op het gebied, van de intensiteit der verdamping en van de opnemingscapaciteit van het doorlatend gesteente.

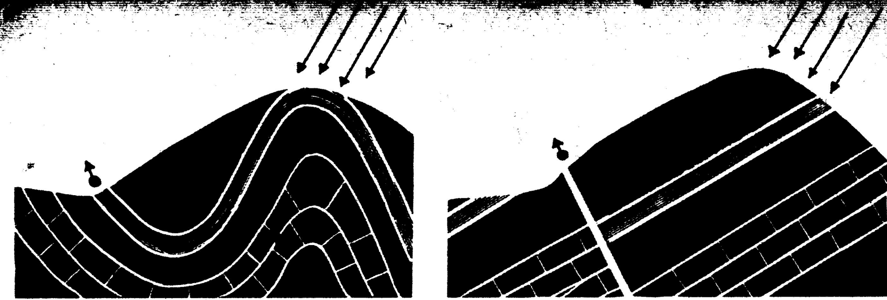
Die voorraden geraken te vroeg uitgeput als er uit een bron meer water stroomt of opgepompt wordt dan er zich nieuw verzamelt.

△ 72 · Het grondwater beweegt zich volgens waterdichte onderlagen. Ligt er daarboven alleen doorlatend gesteente, dan is het grondwater ‹vrij›. Geraakt het tussen twee waterdichte lagen, dan wordt het samengeperst: ‹artesisch› grondwater. Als de bovenste waterdichte laag doorboord wordt, stijgt het samengedrukte water tot de spiegel van het vrije grondwater, het z. g. piëzometrische niveau. Dit heet negatief zolang het beneden het aardoppervlak ligt, positief zodra het daarboven ligt.

Als bij een positief piëzometrisch niveau artesisch grondwater aangeboord wordt, dan stijgt het water in de buis tot het aardoppervlak. Wij hebben dan een artesische put.

a = vrije grondwaterspiegel, b = grondwaterstroom, d = doorlatende lagen, T = tussenlaag van waterdicht gesteente, U = waterdichte onderlaag.





73 · Een bron ontstaat waar de grondwaterspiegel het aardoppervlak snijdt en het water te voorschijn komt. Door de ingewikkelde ligging van doorlatend en niet doorlatend gesteente bestaan er, afhankelijk van de ligging van het aardoppervlak een hele reeks typen van bronnen. De afb. vertoont in doorsnee, hoe de dalen in een vlak gelegen reeks lagen ingevreten hebben die in hun bovenste, doorlatende deel boven waterdicht gesteente grondwater bevatten.

Rechts hebben de beide dalen nog slechts de grondwaterhoudende zone bereikt, maar nog niet de waterdichte onderlaag. In dit geval voedt het grondwater dalbronnen.

Links ligt de dalbodem al in het waterdichte gesteente en dus de bodem van het grondwater in de helling: er ontstaan hellingbronnen. Om de stroomweerstand in het gesteente te overwinnen heeft het grondwater verval nodig: de oppervlakte ervan buigt zich naar de bronnen. Dit is ‹neerdalend› grondwater.

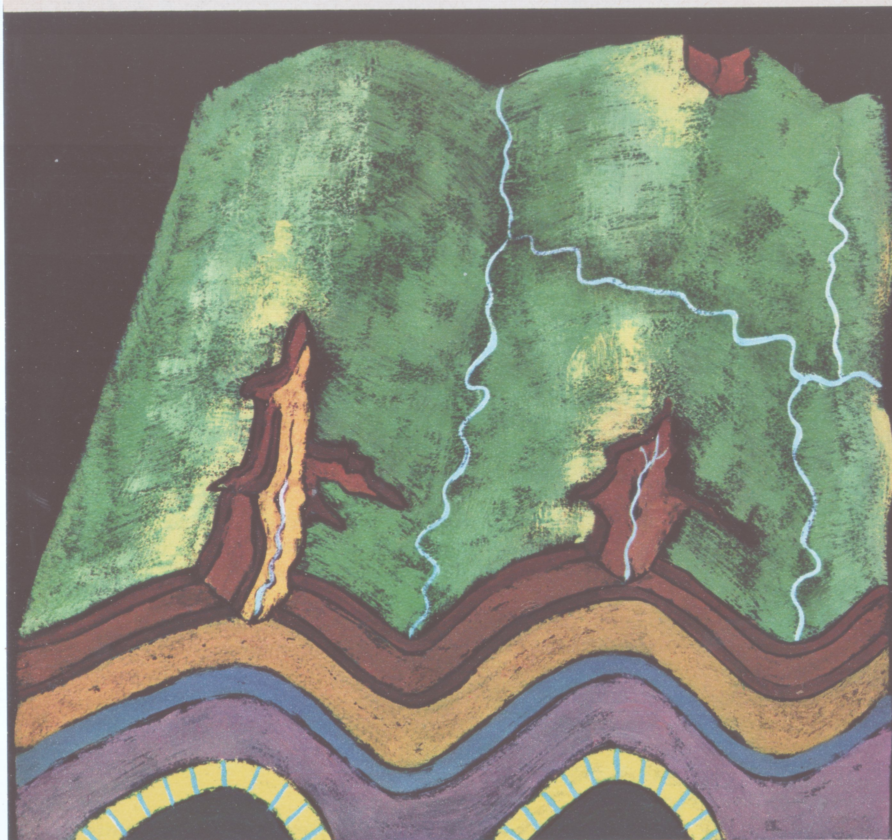
1 = waterdicht gesteente
2 = doorlatende lagen
G = grondwater
◁ ♂ = bronnen

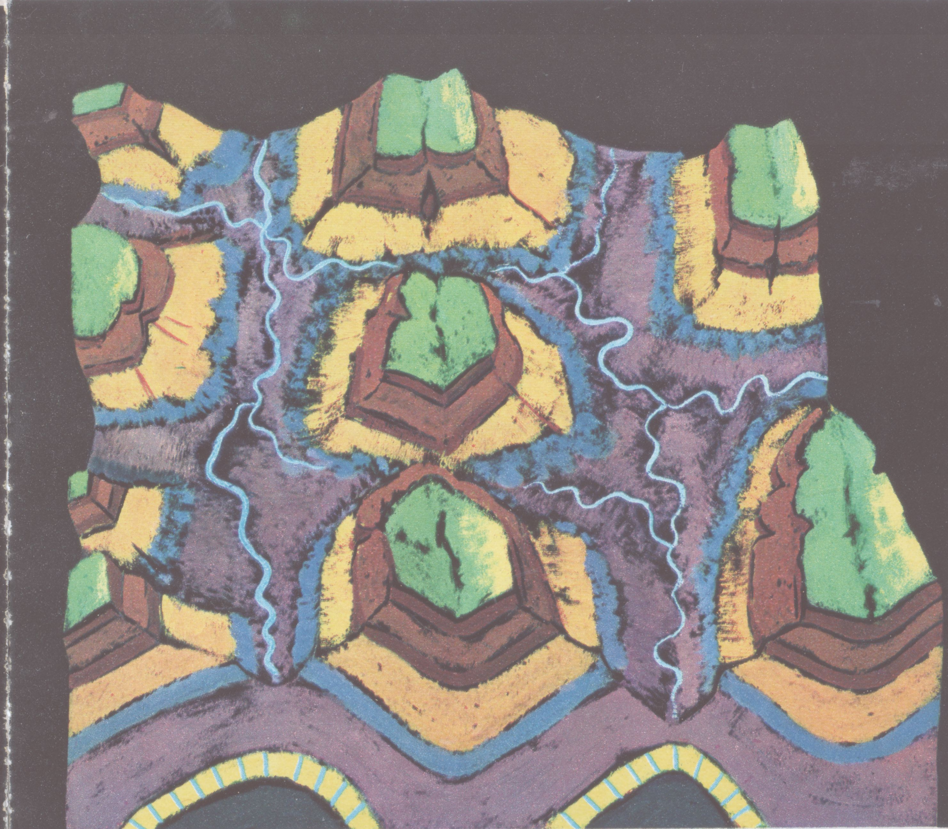
△ 74 · ‹Opstijgende› bronnen vormen zich altijd, als een waterader tussen ondoordringbare lagen ligt en het grondwater het laatste stuk van zijn weg stijgende moet afleggen.

Dit kan alleen als de grondwaterspiegel hoger ligt dan de bron. In zo verre kan men opstijgende bronnen met artesische vergelijken.

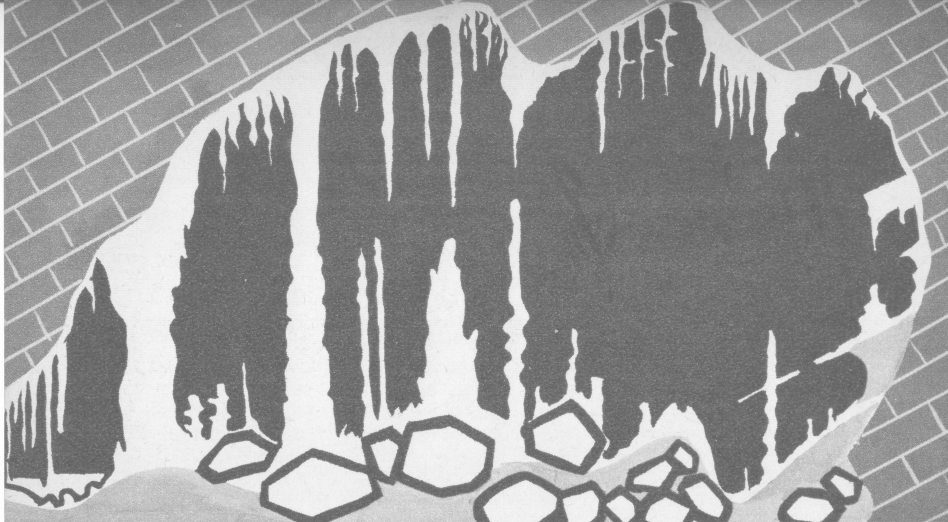
Links ligt in een geplooid lagencomplex een doorlatende, waterhoudende laag. Zolang in deze laag de grondwaterspiegel hoger ligt dan de plaats in het dal waar hij het aardoppervlak bereikt, vloeit er een ‹opstijgende› bron.

Rechts zijn twee stukken gesteente langs een bewegingsvlak dat men breuk noemt, ten opzichte van elkaar verschoven. In de buurt van deze breuk werd bij de beweging der gesteenten de structuur van het waterdichte gesteente dermate verbrokkeld, dat er spleten ontstonden. Raakt er water uit een hoger gelegen gebied in die spleten, dan dienen ze als banen, ze leiden het grondwater naar een z. g. breukbron. Zulke breukbronnen kunnen zowel aan een helling als aan de dalbodem te voorschijn komen.





75/76 · De twee schematische tekeningen vertonen de dalvorming in een plooiingsgebergte door riviererosie in een begin- en in een laat stadium.
Eerst komen de voornaamste waterlopen in de plooidalen tot stand. Als evenwel de plooiing barsten heeft doen ontstaan in de dicht onder de oppervlakte gelegen hoge plooien, kunnen daar in een neerslagrijk klimaat kleine dalen gevormd worden. Die monden dan met groter verval in het diepere hoofddal uit.
Door dit grotere verval wordt dan de erosie, het uitknagen, begunstigd. Zo kan een gedeelte dat hoger ligt en harder is, eerder doorgevreten worden dan het gesteente in de vouwen. In de zijdalen vormen zich ook eerder licht verplaatsbare gesteentenreeksen. Dat alles samen vergemakkelijkt de verwijding en verdieping van die dalen aanmerkelijk.
Onder gunstige omstandigheden kunnen die in 't eerst onbeduidende kleine dalen dus snel groter en dieper worden. Tenslotte voeren ze geen water meer naar de rivieren in de plooidalen, maar tappen die af, tot de oorspronkelijke rivieren verdwijnen. Dan komt er een ver reikende vervorming van het rivierennet en een morfologische omkering van het oorspronkelijke reliëf: de vouwen die oorspronkelijk het diepste gedeelte van het gebergte waren, komen op de toppen te liggen, de hoofddalen volgen de plooien en de ertussen liggende ruggen de vouwen.



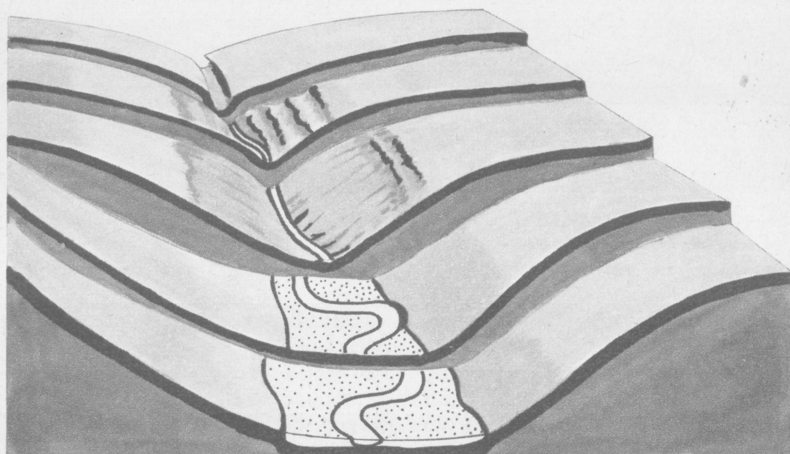
77



79

Het ontstaan van bergdalen. Bergdalen ontstaan vooral door mechanische erosie door stromend water. Maar het water kan gesteenten ook chemisch oplossen, b. v. kalk, dolomiet, gips en zout.

In karstgebieden — het gesteente bestaat uit kalk of gips — sijpelen neerslag en oppervlaktewater in de diepte. Er ontstaan droge dalen en door verwering spleten en grotten.



78

77 · Doorsnede door een grot met druipsteenvorming. Uit het sterk kalkhoudende grondwater dat door het gesteente van de grot sijpelt, zet zich minerale kalk af (sinter), die al naar de chemische samenstelling als tuf, travertijn en druipsteen kan optreden.
In druipsteengrotten groeien de van het gewelf afhangende stalaktieten de forsere stalagmieten tegemoet.

78 · Het stromende water werkt onophoudelijk aan de vorming van de dalen. Het blokdiagram toont de voortschrijdende uitdieping en verwijding van een rivierdal en het ontstaan van een dalbodem.

79 · Dal van de Lauter, een zijrivier van de Donau in Wurtemberg.
De Grieken noemden de aldus lopende Kleinaziatische rivier Menderes ‹Maeander›. Zijn loop toont talrijke lussen. Zonder een diep bed uit te slijpen slingert hij naar beide kanten. Het ‹meanderen› van een rivier maakt een dal wijder en de bochten steeds krommer. In plaats van diepte-erosie komt er zijwaartse erosie tot stand. «De zijwaarts uithalende lussen knagen aan de hellingvoet en verwijden de nauwe erosie-insnijding tot een dal met brede vlakke bodem, waarover de rivier, vaak gesplitst in verscheidene armen, slingert en zijn bed herhaaldelijk verlegt.» (Brinkmann)

Bij die verleggingen blijven er vaak ‹dode› armen over. Als het terrein rijst, zodat een meanderende rivier opnieuw een bed moet insnijden, dan kan hij ten gevolge van de sterke erosie aan de buitenkanten van de lussen een nieuwe weg nemen, soms om sterke bodemverheffingen heen. De dode rivierlinten om deze bergen heen geven het oude verloop van het dal aan.

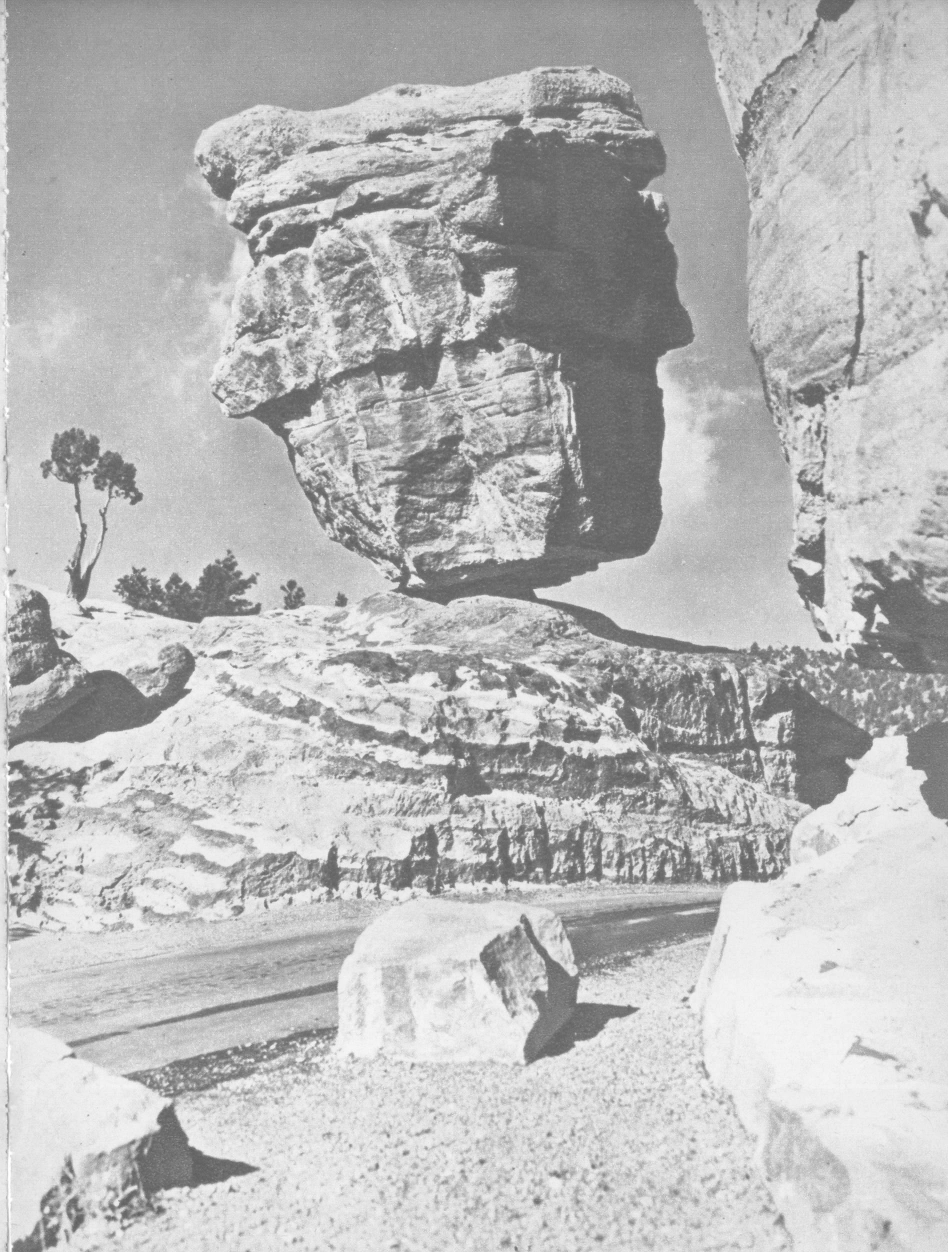
De rusteloze aardkorst. Voortdurende temperatuurwisseling tussen dag en nacht doet de opperhuid der gesteenten uitzetten en weer krimpen, tot hij tenslotte afbladdert en uiteenvalt. Vorst en boomwortels dragen tot de mechanische losmaking van het gesteente bij. Chemische verwering is voortdurend bezig, de slijtageproducten verder te verkleinen. Water, wind en ijs vervoeren ze over grote afstanden, en tenslotte tot in zee. De branding en de zeestromingen vernielen de kust en maken hem vlak. Het eind zou een volkomen vlakke aarde zijn — als er niet voortdurend krachten in het binnenste der aarde bezig waren de korst in beweging te houden, op de ene plaats te doen rijzen en op de andere te doen dalen, en in echt revolutionaire perioden van de aardgeschiedenis hoge bergketens en diepe insnijdingen te doen ontstaan.

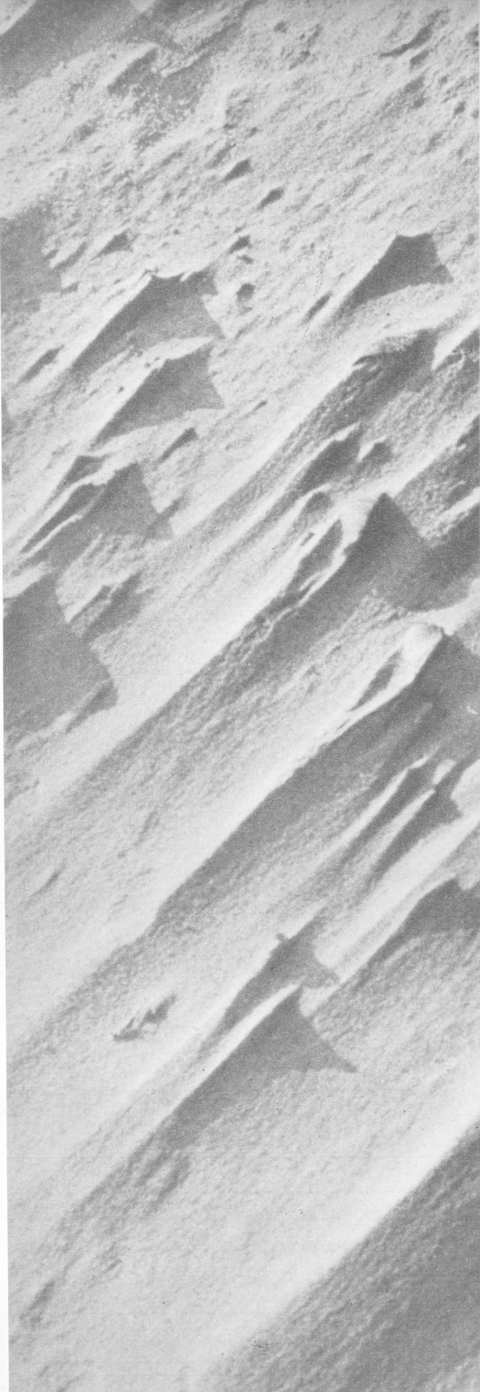
Het oudste aardoppervlak was een stollingskorst van gloeiend magma. Dan beginnen al de verwering en sloping en vormen zich afzettingen in zee: zand en klei, langzamerhand tot steen verhardend, was het eerste bezinksel. Met het optreden van het leven op aarde kwamen er bezinksels van organische oorsprong bij, b. v. kool en organische kalk. In tijden van gebergtevorming werden deze gesteenten gedrukt en geplooid, ze rezen hoog of daalden diep. Uit de diepte steeg vloeibaar gesteente tot in de verwoeste stukken van de aardkorst op en stolde daarin al naar zijn chemische samenstelling als graniet, dioriet of gabbro.

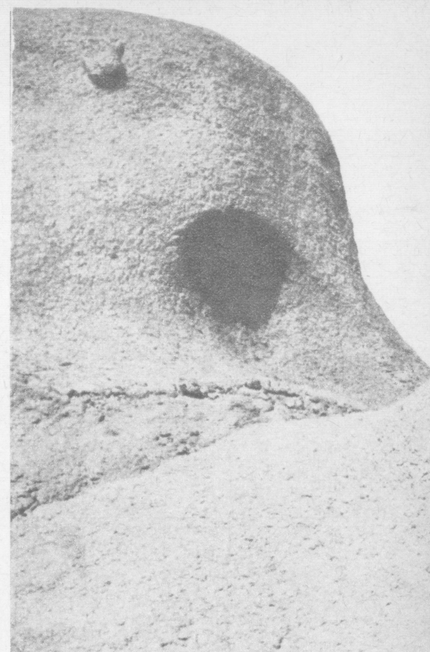
En opnieuw begonnen verwering en sloping aan deze vormingen te knagen. Het leven is nu ook voortdurend bij deze eeuwige verandering betrokken. Immers ook de grond die ons voedt is het resultaat van de nauwe verwevenheid van verwering en organisch leven.

Beroemde natuurmonumenten van verwering en sloping zijn b. v. de aardpyramiden bij Bolzano: onder de bescherming van rotsblokken zijn pijlers van morenemateriaal blijven bestaan, sommige ter hoogte van boomstammen. Het slot Tirol staat op een grote aardpyramide. Op granietgesteenten bewonderen wij hele ‹rotsmeren›, die toch eenvoudig ontstaan zijn door de verwijdering van verweringsgruis, zodat de niet verweerde kernen overbleven. Talloze bizarre rotsvormen vindt men door verwering en de invloed van de wind in droge gebieden, in halfdroge de minutieus doorkloofde ‹badlands›, met hun ongelofelijk dicht netwerk van dalletjets in week gesteente, dat onze verbazing wekt. Verrassend is in het ontdooiingsgebied in het Noorden de geometrie van de polygone grondvormen, veroorzaakt door de sortering van de grondbestanddelen die met het periodiek bevriezen en ontdooien van het grondvocht samenhangen, even verrassend als de stromende of kruipende beweging van puin- en grondmassa's aan de berghellingen daar.

80 · Een eigenaardig staaltje van verwering: de ‹balancerende rots›, een reusachtig, topzwaar rotsblok bedenkelijk dicht bij een autoweg in de ‹Tuin Gods› (Colorado Springs, USA).









81 · Door de wind geschapen lange ribbels in een zouthoudende zandgrond aan de Noordzeekust. Door de kracht van de wind worden zand en stof altijd weer opgetild en verplaatst.
Deze deflatie, zoals het optillen van zand en stof genoemd wordt, wordt in de kuststreken door twee factoren tegengewerkt: «als grote stenen samen een deflatiebescherming vormen en de oppervlakte tegen de aanval van de wind pantseren» (Brinkmann).
Op de plaat speelde het zout dezelfde rol door het zand tot een vaste ◁ korst aaneen te bakken.

82 · Granietrotsen in het Hoggargebergte in de Midden-Sahara, door de wind in de loop van duizenden jaren doorboord. M. Schwarzbach schreef bij deze foto: «Men zou haast geloven dat mensen die granietrots in het Hoggargebergte in de Sahara hadden doorboord, maar het is toch uitsluitend een wonderlijk resultaat van woestijn en wind. De verwering werkt hier niet minder indrukwekkend dan b. v. in het hooggebergte op gematigde breedten, hoewel op een heel andere manier. Hier in het warme droge klimaat is vooral de sterke zonnestraling, gevolgd door afkoeling in de nacht, van invloed. Deze onafgebroken wisseling van temperatuur met als gevolg uitzetting en inkrimping maakt de samenhang in het gesteente langzaam maar zeker los, en het harde graniet verandert geleidelijk in los gruis. Daarna heeft de met zand beladen wind dus aan de voltooiing van de vernieling een gemakkelijk spel.

Door het zien van de verwering van graniet werd Goethe door de ‹ware hartstocht, het graniet nader te leren kennen› gepakt. Hij las er het grondbeginsel van af, ‹dat alle geologische beschouwingen bij het graniet moeten beginnen›.»

83 · Het 350 km lange en 1.800 m diepe doorbraakdal van de Coloradorivier, de Grand Canyon, met een tijd- en formatietabel die de afzonderlijke lagen met hun inhoud aan fossielen kenmerkt.

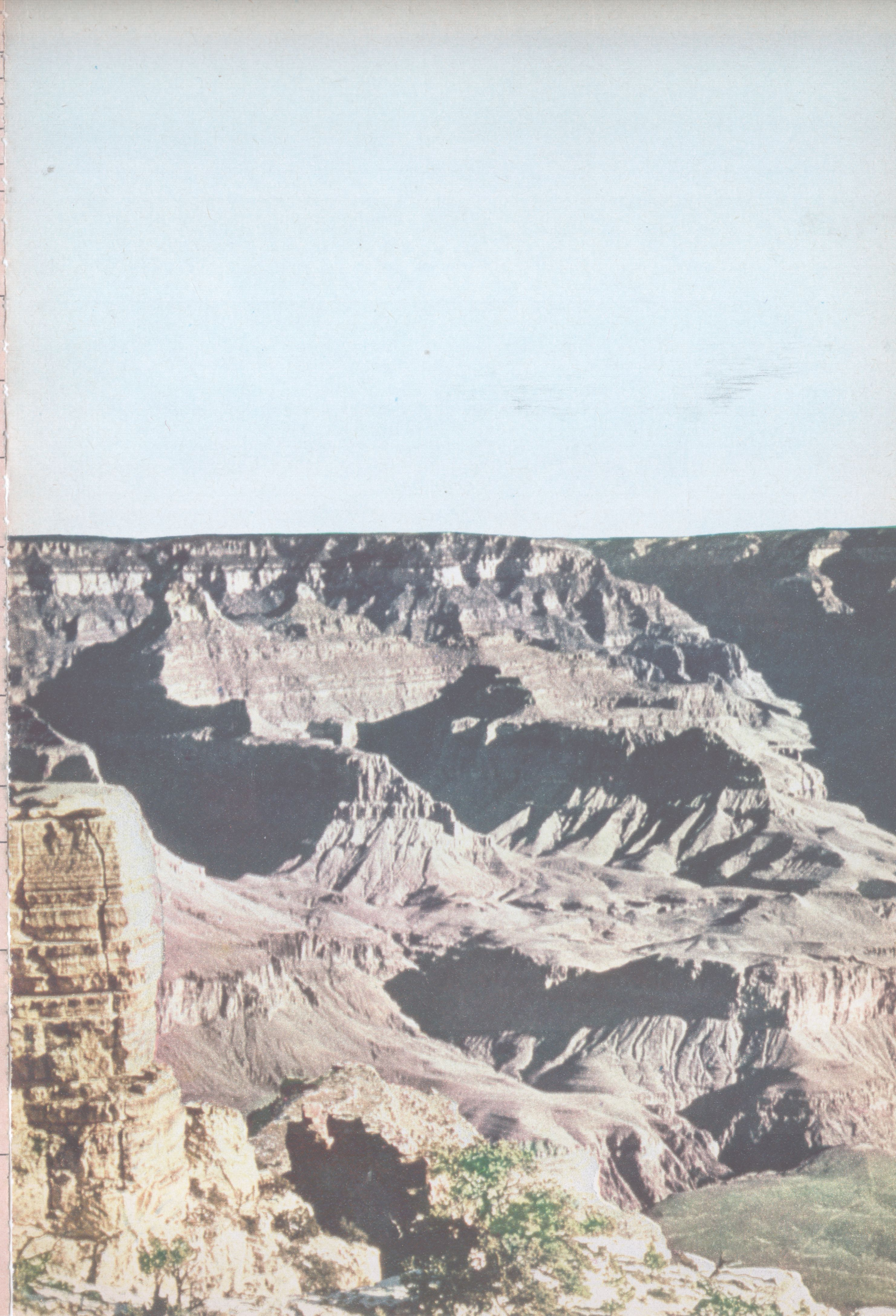
De bovenste laag van de rotswanden stamt uit het Carboon, de Steenkooltijd, die 270 miljoen jaar geleden eindigte. Alle daarboven liggende steenlagen zijn gesloopt. De rivier heeft zich in een miljoen jaren diep ingeslepen en legde daardoor de steenlagen van het Precambrium bloot — 1.400 miljoen jaar oud.

John Wesley Powell onderzocht in 1869 voor het eerst de Grand Canyon. Hij zag als een van de eersten, dat juist in de droge halfwoestijnen van het ‹Wilde Westen› de rivieren met hun erosie en sloping de voornaamste oorzaken zijn van de vernieling der gebergten. Na hem werd de canyon een centrum van natuuronderzoek, de geleerden van de hele wereld kwamen in zijn ban. Vele van hun boeken prijzen de verheven Coloradokloof als de ‹stenen kalender›, hij trok behalve Darwin en Powell ook mannen tot zich als Flawell, Russell, Grove K. Gilbert, Davis, Freemann en Sven Hedin. Juist Powell, Gilbert en Davis zijn het geweest die de geomorfologie hebben ontwikkeld, de ‹leer van de op het vaste aardoppervlak vormend werkende fysische gebeurtenissen en de daardoor geschapen vormen›.

Vooral de verweringsvormen leveren rijk materiaal voor wie de veelheid der vormen op aarde wil bestuderen.

Milj. jaar	Periode
1	Pleistoceen
12	Plioceen
23	Mioceen
35	Oligoceen
55	Eoceen
70	Paleoceen
135	Krijt
180	Jura
220	Trias
270	Perm
350	Carboon
400	Devoon
430	Siluur
490	Ordovicium
600	Cambrium
	Precambrium

Algen Brachipoden
Hoofdstammen v. alle dieren behalve Gewervelden
Vissen
Landplanten
Eerste landdieren
Amfibiënn
Reptielen
Zoogdieren
Vogels
Mens





Rythmische natuurvormen. Als de wind met een bepaalde snelheid zandkorrels over een vlakte waait, vormen er zich achter elkaar liggende wervelingen. Die maken dat het zand in min fo meer evenwijdig lopende strepen, de z. g. ribbels, gaat liggen.

Dergelijke ribbels kunnen echter ook onder water ontstaan, ze komen niet alleen door stromingen maar ook door staande golven tot stand. Terwijl de stromingsribbels een asymmetrische doorsnede vertonen, zijn de door staande golven veroorzaakte ribbels symmetrisch. Als de richting van de stroom verandert, dan komt er een jonger ribbelsysteem over het anders lopende oudere te liggen, wij zien dan kruisribbels voor ons. De strandwandelaar kan waarnemen dat er zich in de golfdalen van zulke ribbels organische resten ophopen.

Zulke ribbels zijn ook bekend op lagen van geologisch oudere afzettingen.

Als wij een blik kunnen slaan in de ondergrond, kunnen wij soms ook in de vertikaal een soort rythme vaststellen, en wel in de korrels: lagen, aan welker basis grove korrels of zelfs steentjes liggen, doch die naar boven toe steeds fijner van korrel worden. Iedere waterstroom heeft naarmate hij aan kracht verloor het eerst steentjes, daarna grovere en daarna steeds fijnere korrels moeten achterlaten.

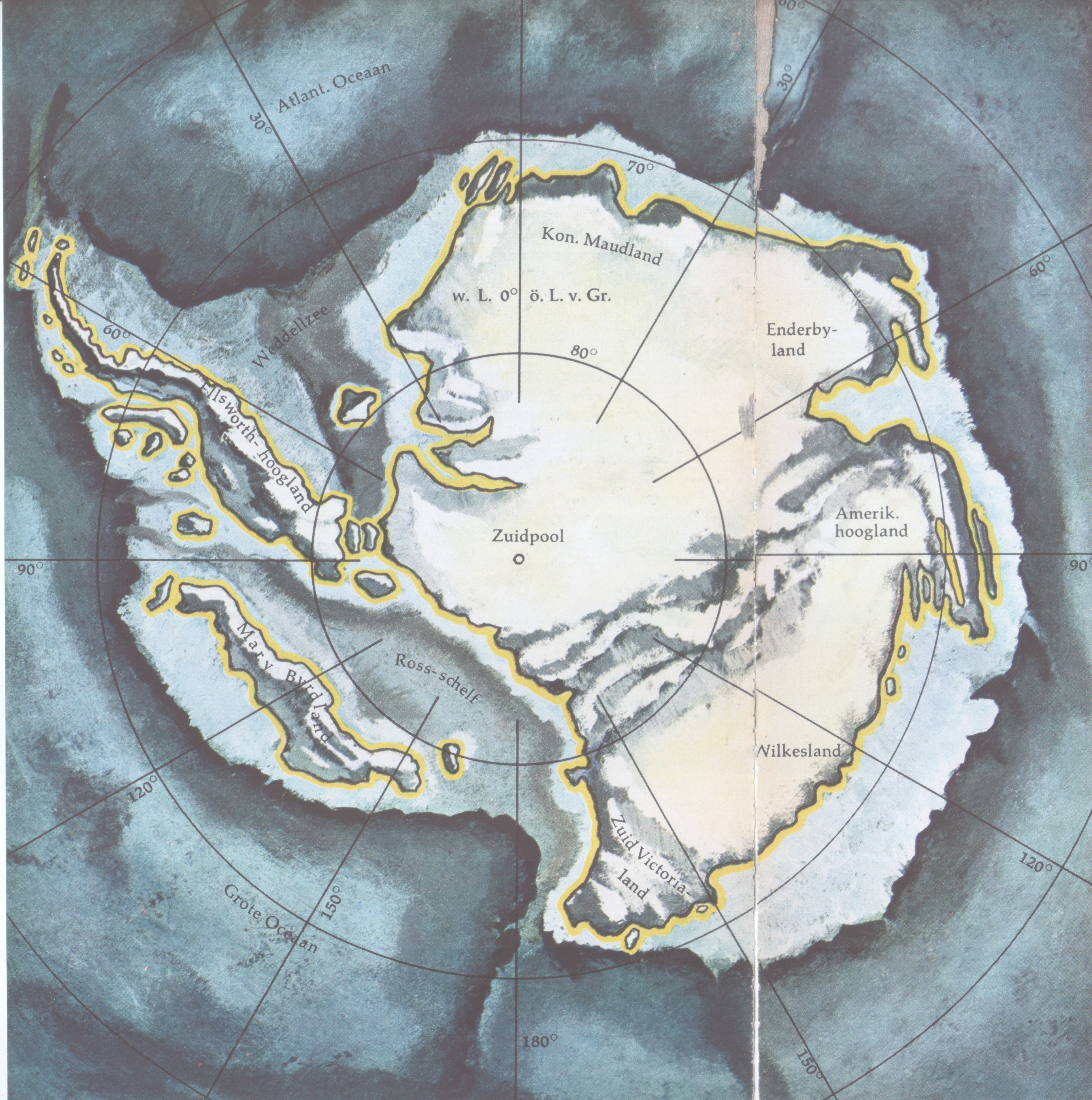
De studie van grotere lagencomplexen toont aan, dat zulke rythmen ook op veel grotere schaal kunnen voorkomen. Er zijn twee oorzaken denkbaar: er zou zich hierin een rythmische afwisseling van neerslagrijk en droog klimaat kunnen afspiegelen en daarmede een overeenkomstige wisseling van de waterkracht die de bezinkingsmassa's aanvoerde. Ook kan er — telkens na een zeker tijdsverloop — een opheffing van de streek waar het bezinkende materiaal vandaan kwam, hebben plaats gehad, waardoor de waterkracht door groter verval vooreerst weer groter werd.

Zo kan men verklaren dat in het basisgedeelte van een rythmisch opgebouwde reeks lagen grofkorrelige afzettingen overwegen. Zulke rythmen op grote schaal kunnen uit verscheidene op kleine schaal opgebouwd zijn.

Sommige chemische reacties treden pas op als er een bepaalde drempelwaarde, b. v. van concentratie, overschreden is. Als in een stukgeslagen blok zandsteen de door verwering ontstane evenwijdige ijzeroerbanden op bepaalde afstanden van het oppervlak verlopen, dan is dat het gevolg van chemische rythmen, net als het bandpatroon in agaat.

Maar in de natuur zijn rythmen steeds slechts partiële verschijnselen, die terugwijken voor haar oneindige veelvoudigheid, het gevolg van haar lange geschiedenis, die overal individuele omstandigheden schept.

84 · Het ‹dal des doods› in Californië (USA). Dit ligt 85 m beneden de zeespiegel, het laagste punt van het Amerikaanse vasteland. De Dode Zee (waterspiegel min 394 m, diepste plek min 793 m) is de diepste ‹depressie› of inzinking op aarde, hij is door het inzakken van de aardkorst ontstaan.



VIII

AARDE ONDER SNEEUW EN IJS

Antarctica. Het onderzoek van Antarctica in het IGY 1957—'58 en door de daarbij aansluitende Internationale Geofysische Coöperatie 1959 (IGC) heeft het laatste nog onbekende continent opengelegd. 46 observatoria, bemand door geleerden uit elf landen, kwamen ten Z. van de 60e breedtegraad tot onverwachte resultaten. Met de methoden van de seismologie, nl. de analyse van natuurlijke en kunstmatige aardbevingsgolven, en de gravimetrie — onderzoek van het zwaartekrachtveld der aarde — was het mogelijk, de werkelijke gedaante van dit onder ijs en gletsjers begraven werelddeel vast te stellen.
Oostelijk Antarctica is een oude aardkorstkern, een continentaal schild met wijde vlakten, doorsneden door enkele hoge gebergten, tegenwoordig begraven onder 3½ km dikke ijsvelden. Westelijk Antarctica daarentegen is een zee met een bergachtige archipel er in. Dit 2½ km diepe oceaanbekken is tegenwoordig volkomen met ijs gevuld, het ijspantser is in 't geheel 4.270 m dik.
Oost- en West-Antarctica worden gescheiden door een lijn die ongeveer van het Ross- naar het Filchner-Schelfijs (schelf = het beneden de zeespiegel liggende voorland van een continent) loopt *(verg. afb. 85)*. Dit zijn allebei drijvende gletsjers. Het Filchner-schelfijs in het zuidelijke deel van de Weddellzee is even groot als Zweden. Het Ross-schelfijs in het

85 · Antarctica.

Zuiden van de Rosszee is even groot als Frankrijk (545.000 km²). De dikte van de ijskappen schommelt tussen 200 en 900 meter. Ten gevolge van enorme druk, rekkingen en verschuivingen breken er tafelbergen af, die zo groot zijn als Nederland of België.

Gebergten. Het Oostantarctische continent wordt doorsneden door twee hooggebergten met toppen tot 4.600 m toe. Het ene ligt helemaal onder het ijs. Het andere antarctische horstgebergte, 4.000 km lang, is zichtbaar. Het reikt van Zuid-Victorialand tot Queen-Maudland. De ‹hoogste berg in het zuidpoolgebied› heette 6.000 m hoog te zijn, wat metingen tijdens een luchtverkenning zouden hebben vastgesteld. De bergreus bestaat echter niet; in zijn plaats werden twee andere hoge toppen gemeten: Mount Sidley (4168 m) en een in de Sentinelbergen (4.675 m). De Sentinelbergen zijn het jongste gebergte van Antarctica, een plooiing die waarschijnlijk met die van de Andes samenhangt.



86 · Luchtfoto van Arctisch hoogland. ▷

Vulkanen en oasen. Het grootste deel van Mary-Byrdland in West-Antarctica is een vulkanisch eiland.
De ijsvrije gebieden in Antarctica met hun meren en vegetatie hebben hun kenmerken te danken aan vulkanische warmte.
De Bunger-oase en kleine gebieden in Nieuw-Zwabenland zijn droge dalen met een koud, droog en winderig woestijnklimaat gebleken. Ze zijn geschapen door zeer hevige, met een kracht van dikwijls 200 km/h neerstortende winden.
«Daardoor verdampt de sneeuw snel, of hij smelt op de door de zon ver boven de luchttemperatur verhitte rotsen.
De meeste in de zomer ijsvrije meren bevatten overigens brak water en op een paar algen na, geen leven.» (Hoinkes)

IJs. 91% van al het ijs op aarde zit op het antarctische continent. Groenland draagt maar 8%, en alle andere gletsjers ter wereld samen maar 1%. De ijskap van Antarctica schijnt zich veel eerder gevormd te hebben dan de arctische: «Het langzame steeds doorgaande dalen van de watertemperaturen op de bodem van de Stille Oceaan sedert het midden van het Tertiair maakt het waarschijnlijk, dat het ijs van het antarctische continent zich lang voor het Quartair, in het Mioceen of Plioceen is beginnen te vormen.» (Hoinkes)

Antarctische ijsmassa's. Mioceen en Plioceen zijn de twee laatste tijdperken van het Tertiair voor de IJstijd, samen duurden ze 23 miljoen jaar. Het Quartair, dat is de geologische formatie die de IJstijd en het heden omvat, heeft daarentegen nog maar 1 miljoen jaar geduurd.

De ontwikkeling van het ijs aan de Zuidpool staat misschien helemaal niet in onmiddellijk verband met het ontstaan van het ijs op het noordelijk halfrond.
Als de ouderdomsbepaling van gedroogde algen in smeltwatermeertjes juist zijn, dan staat vast dat de laatste uitbreiding van de antartictische gletsjers 6.000 jaar voor onze jaartelling plaats gehad heeft. Maar toen bereikte het Postglaciaal op het noordelijk halfrond met zijn warmtetijd een hoogtepunt.

Daar komt nog bij, dat de uitbreiding van het ijs in de laatste ijstijd in Noord-Amerika en Noord-Europa bijna even groot was als de nu nog bestaande ijskap van Antarctica. De ijskap op het Noordamerikaanse vasteland was in de ijstijd zelfs nog groter dan de kap die nu de Zuidpool bedekt. Maar terwijl het ijs van het Noorden met ongelofelijke, onverklaarbare snelheid verdwenen is, duidt niets er op, dat het zuidpoolijs in die tijd merkbaar afgenomen is.

Dit had verwacht moeten worden als de beide poolkappen aan dezelfde krachten blootstaan. M.a.w. ten eerste was op een tijdstip, dat er op Spitsbergen op tropische grond magnolia's en walnoten groeiden, de Zuidpoolkap er al, en ten tweede is er in Antarctica geen spoor te bekennen van teruggang van het ijs in die tijd. IGY en IGC hebben aan het licht gebracht dat men de als ijs aan Antarctica gebonden waterhoeveelheid veel te laag geschat had. De getallen moeten met ongeveer de helft verhoogd worden. Het juiste cijfer ligt ergens bij 28 miljoen km³. Als dit ijs smolt, zou de zeespiegel in de hele wereld omstreeks 60 m stijgen.

De laatste ijstijd met een duur van een miljoen jaren bestond uit verschillende ijstijden die met warmtetijden afwisselden. Elke warme fase duurde 50.000 tot 100.000 jaar. De laatste ijstijd is nu 9.000 jaar geleden geëindigd. Na verloop van tienduizenden jaren zal een nieuwe koudeperiode een eind maken aan onze warmtetijd of Interglaciaal. Op grond van alle resultaten van wetenschappelijk onderzoek en vooral die van het IGY is het niet goed mogelijk te betwijfelen dat wij nog steeds midden in de IJstijd leven die een miljoen jaar geleden begonnen is. Dit maakt het te meer begrijpelijk, dat om zo te zeggen voor de deur van ons ‹zomerhuis› de IJstijd nog duidelijk aanwezig is. Hij is alleen maar naar de hooggebergten en de hoge breedtegraden teruggeweken.

Toch schijnt onze warmtetijd ook op de Zuidpool niet zonder uitwerking te blijven. Weliswaar was het volume van de antarctische ijsmassa gedurende het Pleistoceen niet veel groter dan tegenwoordig, maar toch hebben onderzoekers uit Sowjet-Rusland tijdens het IGY vastgesteld, dat het zuidpoolijs in de laatste 4.000 tot 5.000 jaar voortdurend aan het afsmelten is en zich in het jongste verleden ongeveer 100 km heeft teruggetrok-



87 · Skeidara-sandr aan de zuidkust van IJsland. Op de achtergrond het Vatna-Jökull-landijs.

ken en dat ook de ijskap verscheidene honderden meters afgenomen is. Niettemin bestaat nog steeds deze opvatting: «Onder de bestaande klimaatsomstandigheden in Antarctica schijnt het volkomen uitgesloten dat het ijs door klimaatsschommelingen, zoals de ons goed bekende in het Glaciaal en Interglaciaal van het Pleistoceen, beslissend beïnvloed zou kunnen worden.» (Hoinkes)

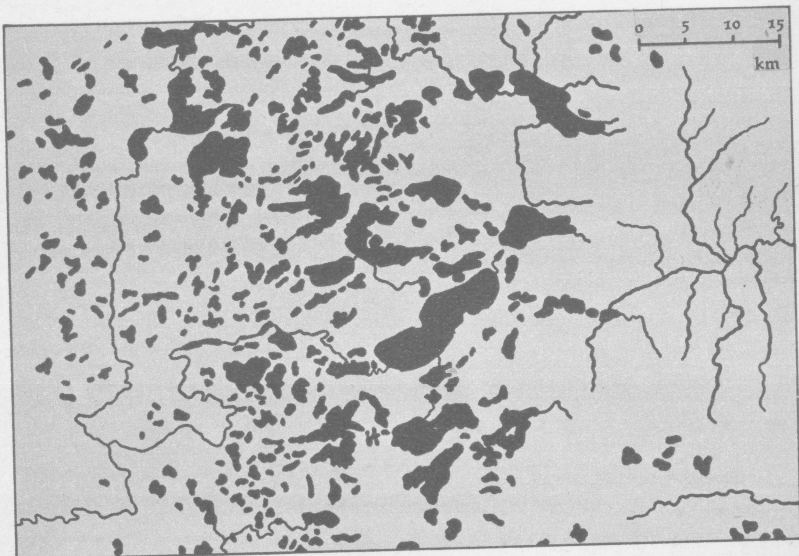
Met het begrip ‹sandr› (IJslands) worden de brede zand- of puinvlakten aangeduid, afzetting van door smeltwater losgespoelde morenematerie, de steenafval die gletsjers meevoeren. Ze hebben zich in het Pleistoceen aan de voet van de gletsjers, voor de eindmorenen, gevormd. Uit de afvalvlakten van de gletsjers stroomt de troebele gletsjerbeek, vol fijngewreven steenstof, die zich aan de voet als regelmatige en fijne klei afzet.

De afzettingslagen zijn jaar voor jaar duidelijk te zien. Deze lagen heten jaarringen of ‹warven›, de hele afzetting ‹bandenklei›.

88 · Kaart van de meren in het westelijke deel van de staat Minnesota (USA). Deze meren zijn ontstaan toen de gletsjers van de IJstijd zich voor de beginnende warmte terugtrokken naar het Noorden. Een overeenkomstig beeld geven de kaarten van andere Noordamerikaanse staten en Canada, Finland, Zweden, Noord-Duitsland, noordelijk Polen en Rusland.
De onderlaag van vastelandgletsjers is ongelijk, vol ondiepe maar ook wel diepere bekkens, waarin het oppervlaktewater zich verzamelt.
De meren zijn onderling verbonden door een zeer onregelmatig net van waterlopen.

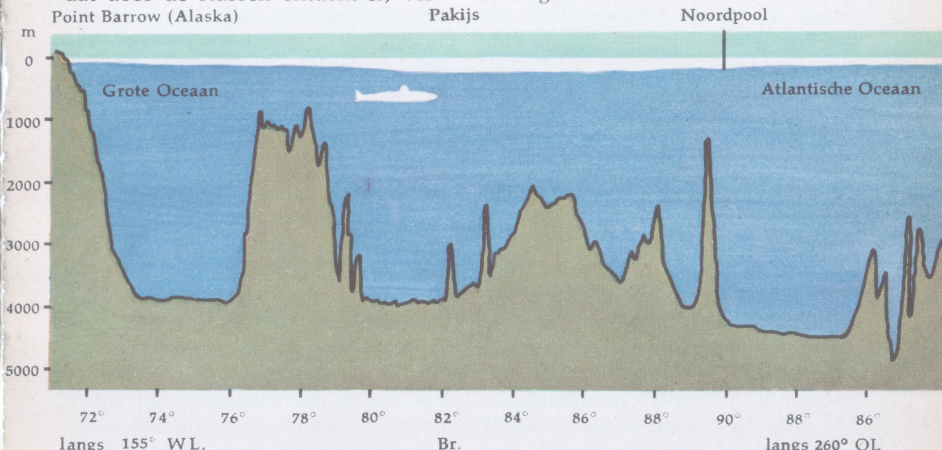
Tegenwoordig zijn ongeveer 16 miljoen km² van het aardoppervlak met gletsjerijs bedekt. 14 miljoen km² daarvan liggen in Antarctica, 1.9 miljoen op Groenland.

89 · Als een rivier stroomt de Barnardgletsjer in het St. Eliasgebergte in Alaska dalwaarts. Hij is afkomstig van de 4.100 m hoge Natazhat.
Dalen en kommen worden door de toestromende gletsjers uitgesleept. De omvang van de gletsjererosie blijkt pas goed als gedurende een warmteperiode de gletsjers afgesmolten zijn en de nog zeer levende ijstijd zich naar het noorden terugtrekt en een ‹fossiel ijstijdlandschap› als getuige van de koudeperiode achterlaat. Zo heeft de laatste koudetijd, het Würmglaciaal, die met warme schommelingen ongeveer 60.000 jaar duurde, Europese en Noordamerikaanse landschappen geschapen. Behalve morenen, kopjes, dalterrassen, rivierterrassen en vruchtbare lössgronden vormden er zich stuwmeren en tenslotte de ontelbare meren die de gletsjers achterlieten. ▷



90 · Bodem van de Noordelijke IJszee. Men ziet de velerlei onder de zeespiegel gelegen bekkens en kammen, de geweldige bergruggen die met de uitlopers van het Aziatische en Amerikaanse vasteland verbonden zijn.

De laagvlakte aan de helling van het Lomonosowgebergte is de diepste plaats van de Noordelijke IJszee, 5 km onder de zeespiegel. Het 3.300 m hoge onderzeese Lomonosowgebergte dat door de Russen ontdekt is, verdeelt de IJszee in twee bekkens. Van een drijvend ijsveld, een ‹drifting station› uit, hebben de Amerikanen het onderzeese plateau dat voor de Oostsiberische drempel ligt, opgemeten. Van de Noordelijke IJszee uit strekt zich een gebergte zuidwaarts uit midden door de Atlantische Oceaan, een geweldige keten die om de hele aarde heen loopt. Nog binnen de poolcirkel stoten vulkanen wier top 2.000 m onder water ligt, lava, as en gassen uit.



△ **91** · 9 juni 1958 begon de Noordpooltocht van de Amerikaanse atoomduikboot ‹Nautilus›. Na vierduizendvijfhonderd km onder water te hebben gevaren bereikte hij op 1 augustus de rand van het pakijs bij Point Barrow in Alaska; daarna voer hij in 5 dagen 3000 km onder de polaire ijsmassa's.

De afb. toont het resultaat van de 11.000 echolodingen: het profiel van de zeebodem van Point Barrow via de Noordpool tot Spitsbergen. Met radiopeilapparaten werd ook het ijsprofiel boven de Nautilus vastgesteld. Aan de Noordpool bleek de zee 4.087 m diep.

Enkele dagen later een gedenkwaardige gebeurtenis in de geschiedenis van het poolonderzoek: Vliegtuigen van de US Air Force hadden een groep geleerden op een drijvend ijsveld in het pakijs van de Noordelijke IJszee neergezet. Na een jaar hard en met succes gewerkt te hebben kregen zij bezoek van de tweede Amerikaanse atoomonderzeeër ‹Skate›, die van de Beringstraat af onder het ijs tot aan ‹Drifting-station A› gevaren was.

IJstijden. Pas na het nauwkeurig waarnemen van de tegenwoordige toestand van het aardoppervlak, pas met die ervaringen en inzichten kan men de sporen, die de voorhistorie heeft nagelaten, juist en zinrijk in onze wereld invoegen.

In de lange aardgeschiedenis zijn al herhaaldelijk ijstijden voorgekomen: perioden van zeer sterke afkoeling, koudeperioden, waarvan de ‹permocarbone› de geweldigste was. Die begon tijdens de Steenkooltijd, 270 miljoen jaar geleden, en duurde 30 miljoen jaar.

En toch kon men uit de zogenaamde ‹tillieten› (till = keileem) sporen van een veel oudere ijstijd afleiden. In dit ongelaagde gesteente, dat uit steenpuin ontstaan is, vindt men ‹gekraste keien› ingebed. Dat zijn duidelijke symptomen van de werking van een gletsjer, die de rotsgrond afgeslepen en gekrast heeft. In Noord-Amerika en vooral in Zuidwest-Afrika zijn tillieten en gekraste blokken gevonden die minstens een miljard jaar oud zijn. Dit zijn de getuigen van de oudste ijstijd uit de oertijd, het Vroege Precambrium.

Stellige getuigen van de tweede koudeperiode, die 600 miljoen jaar geleden begon, zijn talrijke tillieten, rotsen met geschramde voet, morenensporen in Australië, Afrika, Europa en zelfs Arctica.

De derde ijstijd ligt eveneens in het Paleozoïcum, dat verscheidene formaties met een totale duur van 260 miljoen jaar omvatte. Uit die ontzettend lange tijden zijn in tijd en ruimte zeer uiteenliggende en verschillende ijssporen aangetroffen, vooral in Zuid-Amerika en Zuid-Afrika. Maar er werden ook rijkelijk sporen van een tropisch resp. subtropisch klimaat aangetroffen. In het Devoon, dat 400 miljoen jaar geleden begon en 60 miljoen jaar duurde, lag er een beslist tropische zone van Noord-Amerika tot Europa en een poolgebied in het Zuiden van de Atlantische Oceaan.

Terwijl op het noordelijk halfrond in een vochtig-warm klimaat de steenkoolwouden opgroeiden, begon op het zuidelijke de geweldigste bevriezing die wij tot nog toe hebben leren kennen, de vierde, permo-carboon-ijstijd. Deze valt nog in de vroege aardgeschiedenis, op de grens tussen Carboon en Perm, ongeveer 270 miljoen jaar geleden. De ijstijdsporen uit Zuid-Amerika, Zuid-Afrika, Voor-Indië en Australië zijn buitengewoon talrijk en wijzen op bevriezingen van zeer verschillende duur. M. Schwarzbach merkt daarbij op: «De mogelijkheid bestaat echter ook, dat de voornaamste ijstijden niet even oud zijn, maar chronologisch op elkaar volgen, te beginnen met Zuid-Amerika, waarbij Zuid-Afrika, Voor-Indië en Australië zich aansluiten.»

Deze opvatting is in de laatste tijd door L. C King verkondigd; de verklaring zou liggen in een geleidelijke verplaatsing van een arctische klimaatgordel door deze landen.»

Uit de ‹Middeleeuwen› van de geschiedenis der aarde, het Mesozoïcum, dat met zijn perioden Trias, Jura en Krijt 165 miljoen jaren geduurd heeft, zijn geen sporen van een ijstijd te vinden. Pas van het midden van het Tertiair af, dus in de ‹Nieuwe Tijd› van de aardgeschiedenis, begint het in 't algemeen warme tropenklimaat van de gehele aarde af te koelen. Het IGY heeft immers aan het licht gebracht dat het Zuidpoolgebied met ijs bedekt raakte terwijl Arctica nog rijk bebost was. Maar dan begint een miljoen jaar geleden, in het Quartair, de serie van periodiek afwisselende koude- en warmtetijden die wij de IJstijd noemen. Waarschijnlijk waren zulke op elkaar volgende perioden karakteristiek voor iedere ijstijd die de planeet trof.

In de loop van de geschiedenis der aarde zijn dus voorzover wij weten vijf ijstijden opgetreden. En wel met tussenruimten van 100 tot 300 miljoen jaar, en de laatste, die wij als voorbij beschouwen was de kortste, want een miljoen jaren is binnen de vijf miljard jaren van de aardontwikkeling maar een dag. Daarom kan men met vele geleerden van tegenwoordig zeggen, dat de ijstijd van het Quartair met de paar duizend jaar van onze warmtetijd nog niet is afgelopen.

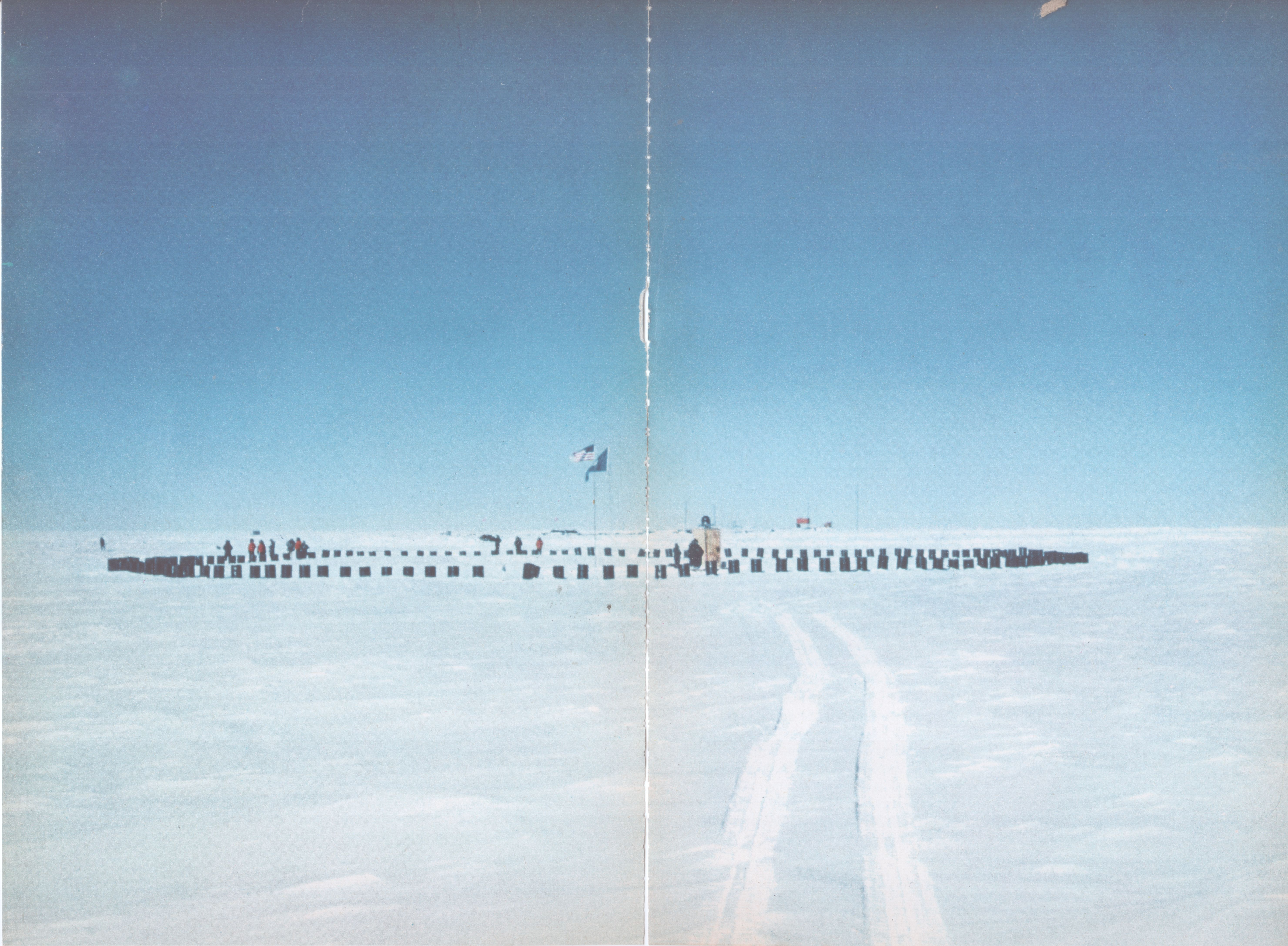
Volgens J. Büdel is een tropisch klimaat de normale toestand van onze planeet. Gedurende de geologisch enigszins te overziene miljarden jaren van de aardgeschiedenis was een wereld zonder ijstijden regel en koudeperioden uitzonderingen.

«De koudeperioden zijn dus de zeldzame, maar toch herhaaldelijk en opvallend eender optredende korte uitzonderingsfasen van de klimaatsgeschiedenis op aarde. En daar ons klimaat in alle opzichten door de zon beheerst wordt, kan er hier slechts sprake zijn van periodiek terugkerende cesuren van verzwakte zonnestraling op grote delen van de aarde. Sedert 100 jaar hebben vele knappe geleerden getracht de laatste oorzaak van dit verschijnsel bloot te leggen — tot dusver zonder definitief resultaat. Vermoedelijk weten wij nog te weinig van het verschijnsel als geheel: de oorzaken zal men pas kunnen opsporen als alle kenmerken en effecten ervan bekend zijn. Het beste object is de jongste, quartaire ijstijd en vooral de laatste episode, het Würmglaciaal. Alle eigenschappen zijn nog aanwezig. Door de overeenkomst tussen de verschillende ijstijden kan men dit als voorbeeld van alle vroegere en latere ijs- en koudetijden nemen.» (Büdel)

92 · De Zuidpool, omringd door olievaten, opgesteld om de weg van de aardrotatie aan te geven. Hier werd 29 juli 1957 een gemiddelde dagtemperatuur van —70° C. bij een gemiddelde windsnelheid van 30 km/h gemeten; uiterst lage temperaturen gaan altijd met harde wind gepaard.

De Russen registreerden op hun post Sowjetskaja in Oostelijk Antarctica op 3.500 m hoogte — 86,7° C. Eenmaal per jaar daalt de temperatuur in dit gebied waarschijnlijk tot de koudegrens van —90° C.

Tijdens het IGY werd de Zuidpool door geleerden uit verscheidene landen bezocht. ▷





Het noord- en zuidpoolgebied. Langs de gebergten van de Balleny-eilanden tot de Weddellzee ligt vermoedelijk een grens die een dam tegen de ijsstromen vormt. Men neemt aan dat er geen ijs van Oost-Antarctica uit binnendringt in West-Antarctica en dat de kap van landijs uit verscheidene, onderling onafhankelijke bevriezingsmaxima is ontstaan.

De kaart toont verder de onbewoondheid van een reusachtig vasteland in tegenstelling tot het noordpoolgebied: dat wordt door een miljoen mensen bewoond, er zijn wouden met zwermen vogels en kudden dieren.

Terwijl de Noordpool omringd wordt door de landmassa's van Europa, Azië, Noord-Amerika en Groenland en het binnenste poolgebied een oceaan is, grenst het continent Antarctica aan de stormachtigste zeeën ter wereld, de orkaanrijke delen van de Indische, Atlantische en Grote Oceaan.
Voor het IGY zijn niet meer dan tien mensen aan de Zuidpool geweest: AMUNDSEN en SCOTT met hun mensen, en tijdens het IGY vertoefden er maar achttien mannen op de Zuidpool, verloren op een landmassa, zo groot als Noord-Amerika en Europa samen.
Ondanks de stugge strijd van de mens met de verijsde landmassa, die in IGY en IGC zijn hoogtepunt bereikte, hebben mensen de pool maar vijf maal over land bereikt:

in 1911: Roald Amundsen met vier man,

in 1912: Robert Scott met vier man, op de terugtocht kwamen allen om,

in 1957: Sir Edmund Hillary,

ook in 1957: Sir Vivian Fuchs,

in 1960: Alexander Dralkin met zestien leden van de Russische Antarctische expeditie, waarbij een gebied werd doorgetrokken waar nog nooit mensen geweest waren.

Tijdens het IGY werden door middel van kunstmatige aardbevingsgolven seismische profielen van de ondergrond verkregen.

De ijsmassa's van de beide polen bestaan onder zeer verschillende omstandigheden: de ijskappen uit de IJstijd werden op het noordelijk halfrond aan hun zuidrand sterk door de landmassa's verwarmd, terwijl opgewaaid stof het terugkaatsend vermogen van de ijsmassa's verminderde. De randzones van deze ‹getemperde› gletsjers begonnen te smelten, de gletsjers werden van de randen uit zo snel aangetast, dat ook neerslag in de vorm van sneeuw hun teruggang niet kon ophouden. Het landijs in Antarctica is in zijn geheel een ‹koude› gletsjer, dat wil zeggen: de temperaturen in de omgeving zijn zo laag, dat hij van de landmassa's uit niet wordt verwarmd en door neerslag voldoende bijgevoed. Aangenomen wordt dat in de huidige warmtetijd de temperaturen nog verder zullen stijgen. Maar ook door warmer worden van de aarde kunnen de koude gletsjers van Antarctica geen getemperde worden. H. HOINKES wijst er verder op, dat de toeneming van neerslag die met warmer worden gepaard gaat, het zuidpoollandijs eerder zou doen toenemen, altans in evenwicht houden.



97 · De warme Golfstroom met zijn tegenstroming voor de Oostkust van Amerika. De Golfstroom komt uit de Golf van Mexico, stroomt door Straat Florida, loopt evenwijdig aan de kust van Noord-Amerika en draait kort voor de 40ste breedtegraad naar het Oosten.

Op een diepte van ongeveer 3.000 m vloeit zijn tegenstroom met een snelheid van 18 cm/sec. De ontdekking van de stroming onder de Golfstroom door J. C. Swallow en L. V. Worthington is gelukt met een door de laatste ontwikkelde methode: van een schip af werden drijvers zodanig in evenwicht gehouden dat ze op een bepaalde diepte bleven zweven. De drijvers zijn uitgerust met geluidsbronnen die seinen uitzenden. Door radionavigatie en radarpeiling wordt de beweging van de drijvers en daarmede richting en snelheid van stromingen bepaald.

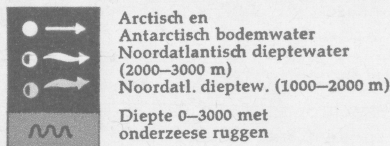
In de jongste tijd is voor het bepalen van zeestromingen ook een soort tracertechniek ontwikkeld: als oppervlaktewater naar de diepte wegzinkt, voert het sporen radioactieve koolstof mee, waarvan de beweging globaal gevolgd kan worden. Op grond van de met deze methode verkregen resultaten neemt men aan, dat het water van diepe lagen enige honderden jaren onder de oppervlakte van de zee blijft. Het oudere diepzeeonderzoek was er op aangewezen, stromingen uit verschillen in temperatuur, zoutconcentratie en zuurstofgehalte op verschillende zeediepten af te leiden. Deze verschillen laten conclusies toe, doordat de toestanden op grote diepten buitengewoon constant zijn.

Diepzeestromingen. Het IGY en de erop volgende jaren brachten een omwenteling te weeg in de oceanografie. Er heeft in de zeeën op grote diepte een buitengewoon sterke watercirculatie plaats. Dicht boven de bodem van het zuidelijk deel van de Atlantische Oceaan, op 3.5 tot 5.5 km diepte, treden stromingen op die per seconde 3 miljoen m^3 water naar de evenaar vervoeren.

Onder de Oost-Groenlandstroom, die al eeuwen bekend is, loopt op 1 à 2 km diepte een koude polaire stroming de Golfstroom te gemoet. Op bijna 3 km diepte verplaatst hij met een snelheid van 18 cm/sec vier tot zeven miljoen m^3/sec water. De Golfstroom reikt dus tot een diepte van ongeveer 1.600 à 2.200 m en pas daaronder ligt zijn koude tegenstroming.

Een van de sterkste zeestromingen bleek de Cromwellstroom te zijn, die in de Grote Oceaan dicht onder de oppervlakte precies langs de evenaar stroomt met een snelheid van 150 cm/sec. Hij is 300 km breed, 200 m diep en vervoert per seconde 39 miljoen m^3 water, dat is 1.500 maal zoveel als de Mississippi. Hij kon over een afstand van 6.300 km gevolgd worden, maar in werkelijkheid is hij waarschijnlijk 12.000 km lang. Deze reus onder de zeespiegel loopt van West naar Oost onder de zuidelijke equatoriale stroom. Onlangs werd in de Atlantische Oceaan een overeenkomstige situatie ontdekt. Men vermoedt daarom, dat ook in de Indische Oceaan onder de ten Zuiden van de equator vloeiende stroom een dergelijke stroom loopt, maar kon die tot dusver niet constateren.





A = Davisdrempel (Baffineiland - Groenland)

B = Groenland - IJslandrug

C = IJsland - Färöer = Schotlandrug

D = Reykjanesrug

98 · Brongebieden en richting van uitbreiding van de Atlantische dieptecirculatie. C. Tomczak lichtte *afb. 98* aldus toe: «Het antarctische bodemwater, dat bij zijn gebied van oorsprong geen bodemdrempels behoeft te passeren, verbreidt zich ver naar het Noorden, terwijl het langzaam van de Noordelijke IJszee uit opdringende arctische bodemwater beperkt blijft tot het noordelijke gedeelte van de Atlantische Oceaan. Omgekeerd blijkt het noordatlantische dieptewater dat zich in de Irminger- en de Labradorzee vormt, tot in de antarctische wateren door te dringen en zich daar met de oostwaarts stromende antarctische waterkring te verenigen. Volledigheidshalve is het zoutrijke, in de diepte van de Straat van Gibraltar uit de Middellandse Zee stromende dieptewater (100 tot 2.000 m diepte) dat ook een voorwerp van onderzoek geweest is in het IGY, ook aangegeven.»

Tijdens het IGY gelukte het verscheidene ijsbrekers van verschillende nationaliteit, dieper dan anders in de ijsgordel van Antarctica door te dringen, om de circulatie en verbreidingsrichtingen van het antarctische bodemwater bij de ‹brongebieden› te onderzoeken. Gelijktijdig werkte men in de Noordelijke IJszee aan dezelfde taak. De resultaten waren volgens G. Wüst deze: in de winter ontstaat in de antarctische Weddellzee en in de Noordelijke IJszee zeer koud en bijzonder zwaar water. In Antarctica dringt het onmiddellijk in de diepten van de Atlantische Oceaan door. In het Noorden wordt de afvloeiing door onderzeese ruggen, die tussen Schotland en Groenland tot 400 m onder de zeespiegel oprijzen, belemmerd. Het dringt bij stoten over de ruggen verder en houdt zo de Noordatlantische circulatie in gang.

Na het IGY werd in 1960 het ‹Overvloeiingsprogramma› opgesteld, waar 5 landen met 9 schepen aan deelnamen. Het was hun taak, de instroming van subarctisch water over de onderzeese ruggen in de noordelijke Atlantische Oceaan te onderzoeken.

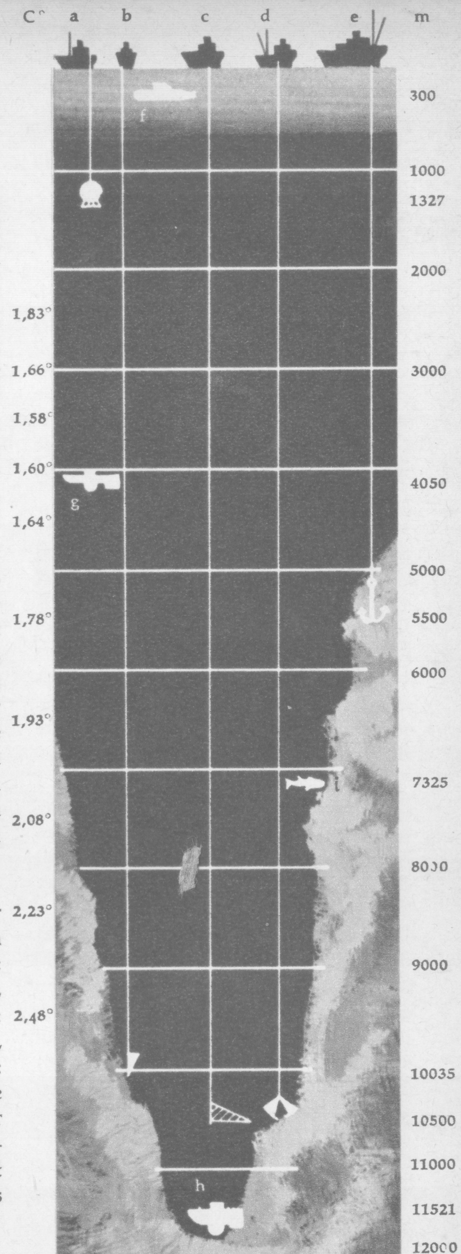
Gebieden van het diepzeeonderzoek. Van de zeespiegel tot een diepte van 500 m reikt de lichte warmwaterzone. In dit ‹ruime sop› heersen temperaturen van 10 tot 28° C.

Ver van de kusten, tussen ongeveer 500 en 2.500 m ligt de donkere, koele, zout- en zuurstofarme bovenste diepzeezone, met een temperatuur van 3 tot 10° C.

Van 2.500 tot 11.034 m reikt de onderste diepzeezone, een donkere, goed geventileerde koudwaterzone, met temperaturen tussen — 1 en + 3° C.

In januari 1960 bereikten Don Walsh en Jacques Piccard, zoon van de stratosfeer- en diepzeeonderzoeker Auguste Piccard, met hun duikschip ‹Bathyscaph› de bodem van de Marianentrog. Deze ligt in de Grote Oceaan ten ZW. van Goeam en is 11.034 m diep, wat tot dusver als de diepste insnijding in de aardkorst wordt beschouwd. De onderzoekers ontdekten in deze oceaanafgrond bij een druk van 1.100 atmosferen per cm² twee levende wezens: een platte 30 cm lange vis met ogen aan één kant van zijn kop, en een lichtrood dier van 2.5 cm lengte dat op een garnaal, een kreeft met tien poten en een lange staart, geleek.

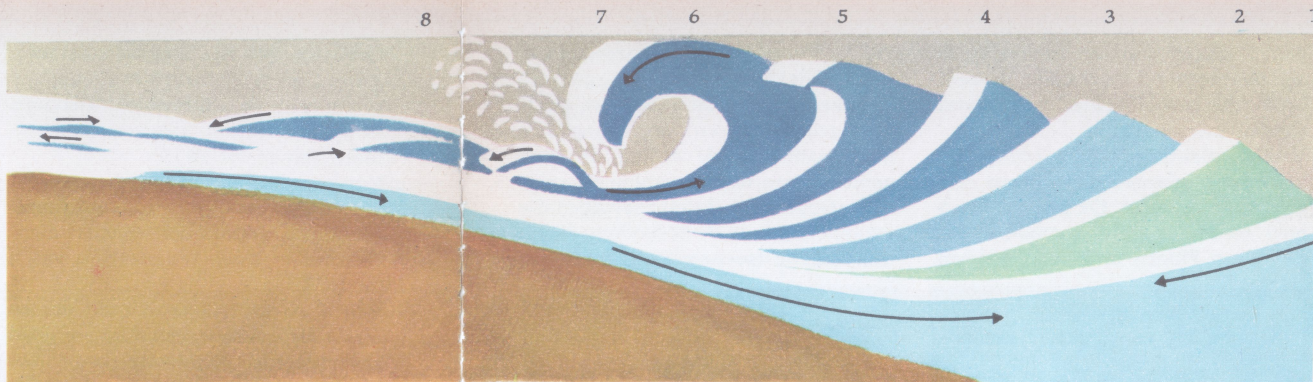
99 · De zeediepten, die tot dusver met de verschillende methoden van diepzeeonderzoek bereikt werden: a: duikkogel van Beebe en Barton, b: waterschepper, c: sleepnet, d: bodemgrijper, e: grootste ankerdiepte, f: duikboot, g: diepduikschip, h: bathyscaaf van J. Piccard, i: diepste visvangst. Auguste Piccard en Hout bereikten met het duikschip al diepten van 3.150 en 4.050 m voordat J. Piccard en Walsh hun records konden maken.



Zeegolven. De zeespiegel is bijna altijd golvende, daar de wind de waterdeeltjes van de spiegel aanhoudend in een orbitale beweging brengt. De ronde baan waarin de waterdeeltjes om de evenwichtsstand schommelen, is in het bovenste gedeelte bijna cirkelvormig, in het onderste elliptisch. De kringbanen zijn aan de oppervlakte het grootst, naar beneden toe worden ze kleiner, tot ze verdwijnen.
Ieder waterdeeltje wordt wat later in beweging gebracht dan het, tegen de wind in kijkend, er achter liggende. Daardoor vormen de golven een curve met steile bergen en gerekte dalen.

De tijd waarin twee opeenvolgende golfbergen op elkaar volgen, heet golfperiode; zij komt overeen met de orbitale omloop van een waterdeeltje. De waterdeeltjes die een golf vormen oscilleren met de windrichting mee en verheffen zich daarbij, de deeltjes die het golfdal vormen, oscilleren tegen de windrichting in, waarbij ze dalen.

Bij de normale golving van het wateroppervlak zijn de golven 2 tot 4 m hoog, bij storm 8 m, de hoogste tot dusver gemeten golf was ongeveer 16 m.
De lengte van de zeegolven bereikt onder de passaatwinden 60 m, onder onregelmatige westenwinden 250 m, maximaal 300. Als zeegolven door de wind in ondiepe gebieden en tegen de kust gedreven worden, wordt deze beweging verstoord, de golven worden korter en hoger, en vallen tenslotte voorover. Als de golf gebroken is, stroomt het water over de oever en vloeit daarna, beladen met puin en zand, naar zee terug.



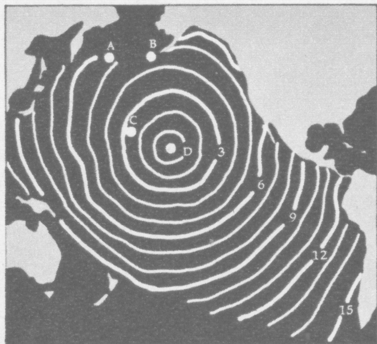
100 · Het diagram toont hoe een golf aan een vlakke kust langzaam naar de oever stroomt en veraanschouwelijkt in 8 stadia hoe de golf in de branding steeds korter en steiler wordt, tot hij eindelijk omslaat en breekt.

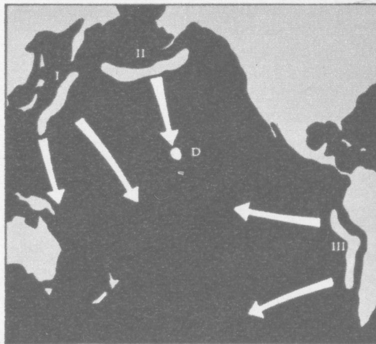
101 · Brandingsgolf aan een steile kust. Tegen klippen, steilten, kliffen en hoge havendammen loopt de orbitale beweging van de golven niet geleidelijk uit; de golven vliegen met het grootste geweld ertegen op en kaatsen terug. Door deze versterkte weerstand neemt de hoogte van de dicht op elkaar volgende golven toe, zodat ze vaak 30 tot 40 m omhoog vliegen. De kracht waarmee de watermassa's bij sterke branding tegen steile kusten slaan gaat tot 30 ton per m². ▽



102 · Haard van een zeebeving en de daardoor veroorzaakte bodembreuk die in het gebied van Hawaii aangenomen wordt.
Van de plaats van deze onderzeese breuk uit planten de golven zich kringvormig voort. De hier aangenomen zeebevingsgolven zouden in 16 uur Kaap Hoorn al bereikt hebben.

103 · Voornaamste diepzeetroggen in de Stille Oceaan. Deze troggen zijn zwakke zones in de aardkorst, aardbevingrijke streken met langzame maar aanhoudende daling. In deze gebieden van breukvorming en splijting veroorzaken de aardbevingen die veranderingen in de zeebodem, die op hun beurt de ‹tsoenami's› veroorzaken.





A = Attueiland (Aleoeten), B = Dutch Harbot (Schiereiland van Alaska), C = Midwayeiland (westelijk van Hawaiieiland), D = Hilo op Hawaii, I Kurilen-, Japan- en Marianengracht, II Aleoetengracht, III Atacámagracht, 3—15 leswaard.

Zeebevingsgolven. Hardlopers van de zee zijn de zeebevingsgolven, de Japanse ‹tsoenami's›. Deze diep reikende golven, die in een paar uur de Pacific over kunnen razen, hebben met de orkanen en getijden niets te maken, zelfs niet rechtstreeks met aardbevingen, want ze worden door de van bevingen afkomstige veranderingen in de zeebodem verwekt. Hun voortplantingssnelheid kan 800 km/h bedragen. De afstand tussen twee golftoppen is 150 tot 300 km.
Op zee zijn ze niet te bespeuren, geen enkel schip merkt er iets van, en ze zijn van het schip af ook niet zichtbaar, doordat ze in volle zee maar een halve meter hoog zijn. Pas wanneer ze op een kust stoten, ontwikkelen ze hun ontzettende vernielingskracht. Aan de kust is een zeker sein van hun nadering te bespeuren: voordat het water van een zeebevingsgolf aanrolt, wijkt de zee eerst helemaal terug.
De voornaamste diepzeetroggen zijn: in de Stille Oceaan: de Aleoetentrog aan de zuidrand van de Beringzee; de Koerilen-, Japan- en Marianentrog aan de oostrand van de Japanse eilanden; de Philippijnentrog voor de oostkust van de Philippijnen; de Kermadec- en de Tongatroggen ten N. van Nieuw-Zeeland; de Guatemala- en de Atacámatroggen voor de westkust van Midden- en Zuid-Amerika; in de Indische Oceaan: de Soendatrog ten Z. van Java; in de Atlantische Oceaan: de Caymantrog in de Caraïbische Zee, de Porto-Ricotrog ten N. van het eiland Porto-Rico, de Zuid-Sandwichtrog ten N. en O. van de Zuid-Sandwicheilanden.

Grote zeebevingen. De Amerikaan N. N. Hack heeft op grond van historisch materiaal een lijst opgesteld van de vloedgolven die sedert 479 v. Chr. kunnen worden vastgesteld. Hij telde er 270:

426 v. Chr.: Aardbeving tussen Euboea en de Malische Golf. Het water overspoelde de Thermopylae en rukte een toren omver waarop 25 meisjes naar een roei-of zeilwedstrijd keken.
19 en 526 n. Chr.: Aardbeving in de Middellandse Zee. De vloedgolven verzwolgen aan de kusten van Griekenland, Egypte en Lybië 240.000 mensen.
1672: een zeebevingsgolf overspoelde de stad Port Royal op Jamaica.
1755: Aardbeving van Lissabon. Van de 60.000 slachtoffers waren er 32.000 verdronken.
1896: aardbeving van Sanrikoe in Japan; de 10 m hoge golven eisten 27.000 slachtoffers.
1908: aardbeving van Messina en Calabrië: 100.000 doden.
1923: Saganibaai in Japan. 100.000 slachtoffers.
1933: aardbeving van Sanrikoe in Japan: 3000 mensen verdronken.
1952: aardbeving op het Oostaziatische schiereiland Kamsjatka. De tsoenami's teisterden Japan hevig en de kusten van de eilanden Wake, Midway, Oahoe, Hawaii en de voor Alaska gelegen Aleoeten. Over de verliezen aan mensenlevens werden geen getallen bekendgemaakt.

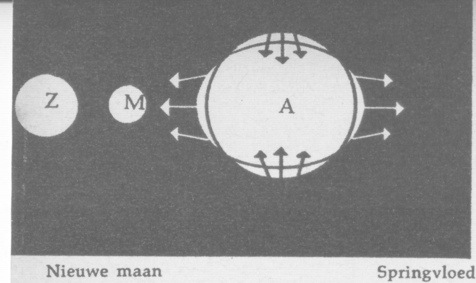
Vloedgolven door meteorieten. Inslag van meteorieten in de oceanen kan ook vloedgolven veroorzaken.

Op de grond zijn meteorietenkraters na vele miljoenen jaren volkomen uitgewist en vlak geworden. Maar systematische luchtfoto's en bestudering van de kaarten kunnen oeroude (fossiele) en jongere meteorietenkraters terugvinden. De aanwezigheid van coesiet en straalkalk, die allebei alleen onder ontzaglijk hoge druk ontstaan, duidt op het inslaan van een reuzenmeteoriet.

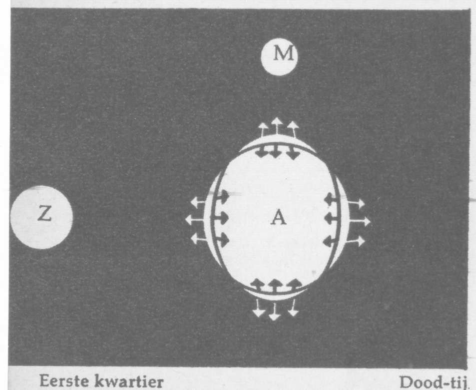
Ondersteld dat er inderdaad zo'n macrometeoriet in de Atlantische Oceaan valt, dan moet hij een vloedgolf veroorzaken van 6.000 m hoogte, waardoor ontzaglijke gebieden van de aangrenzende continenten overstroomd zouden raken, b. v. de hele oostkust van de U.S.A. De gigantische golf zou dan ook nog over het Apalacheegebergte heenvegen. De kansrekening kwam tot de slotsom dat er iedere 10.000 jaar een reuzenmeteoriet neerkomt, dus in 500 miljoen jaar 50.000. Als deze theorie klopt — bewijzen bestaan bijna niet — dan moet noodzakelijk het grootste gedeelte in zee gevallen zijn, daar $^2/_3$ van de aarde zee is.

104 · Tsoenamigolf, geschilderd door de Japanse meester der gekleurde houtsneden Hokoesai (1760—1849) na de vloedgolfcatastrofe van 1793. ▷

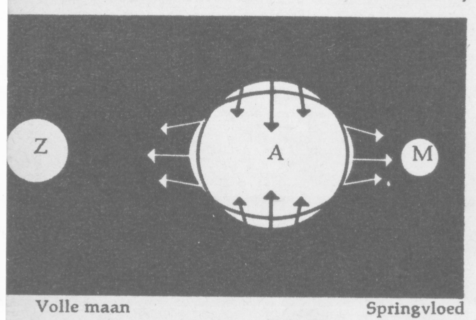

冨嶽三十六景
神奈川沖
浪裏



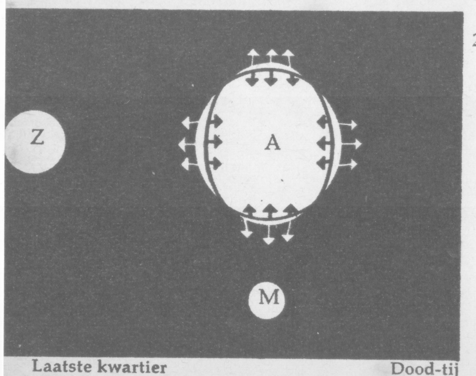
Nieuwe maan Springvloed



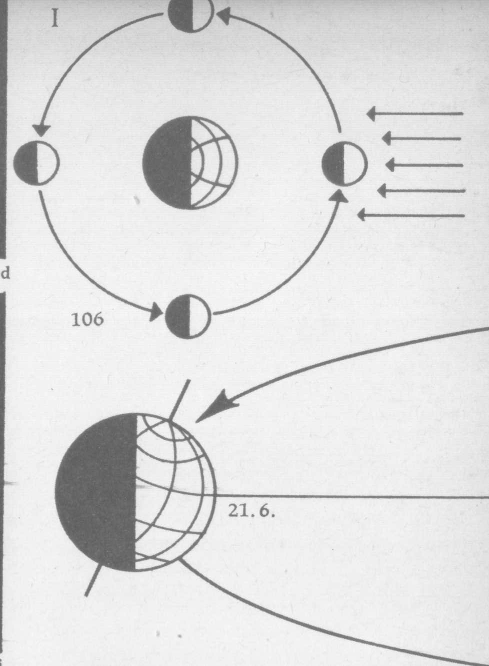
Eerste kwartier Dood-tij

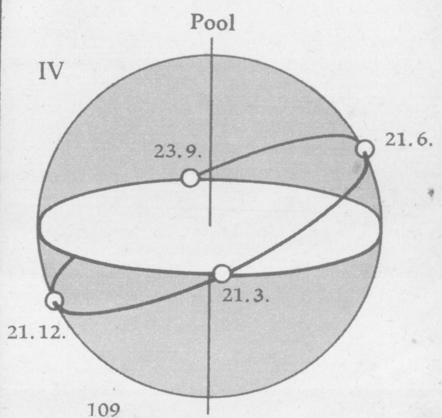


Volle maan Springvloed



Laatste kwartier Dood-tij

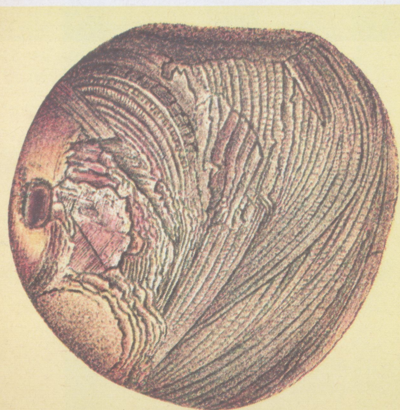




105 · Invloeden der getijdekrachten op de aarde. A Aarde, M Maan, Z Zon. **106** · Positie van zon, maan en aarde bij springvloed en bij dood tij. **107** · Getijdekrachten. Het vaste gedeelte van de aarde wordt aangetrokken door de maan mèt een versnelling

Expansietheorie. De wetenschappelijke resultaten van het IGY leidden tot de nieuwe hypothese — die overigens in sommige opzichten nog verstevigd dient te worden — dat de splijting van onze planeet door uitzetting veroorzaakt wordt. Tot voor kort scheen de contractiehypothese vrij zeker, die stelde dat de aardbol door afkoeling krimpt en rimpels vormt zoals een verschrompelende appel. Verscheidene geleerden vestigden er de aandacht op, dat de continenten in vroegere geologische perioden door veel meer water bedekt waren dan tegenwoordig. De verhitting van de aarde door het radioactief uiteenvallen van stoffen binnen in de aarde, en een waarschijnlijk sterkere toevoer van zonnewarmte in vroegere tijdperken moesten een buitengewoon sterke verdamping veroorzaken: een dichter wolkendek, een gelijkmatig vochtig klimaat, perioden zonder seizoenen met veel neerslag, zoals b. v. in het Carboon.

Als de planeet kromp zouden de vastelanden al lang onder water staan. Volgens de expansietheorie is het water door de uitzetting van de vastelanden afgevloeid.



De groeven en spleten van de maan en de ‹kanalen› op Mars, waarvan niemand meer het bestaan betwijfelt, waren tot dusver raadselachtig. Maar als men uitgaat van een gelijksoortige tectonische bouw en gelijke expansie van maan en aarde, dan kan de bouw van de ‹maankorst› begrijpelijker worden. En tegelijk het reliëf van de zeebodem.

De studies van K. v. Bülow knopen hier nog meer zeebodemproblemen aan vast. «De onderste laag van de aardkorst is met een dikke afzettings- (en graniet-)schil bedekt. Op impulsen uit de diepte reageert die met plooiingsverschijnselen van verschillende hevigheid. Maar op de maan ligt de onderste laag bloot. Want omdat een afzettingslaag slechts ontstaan kan als functie van een water- en luchtmantel, en de maan deze niet heeft, bezit de aardsatelliet geen sedimenthuid en daardoor ook geen plooivorming. Het maanoppervlak mag alleen met het onder de buitenste schil verborgen oppervlak van de onderste aardkorst vergeleken worden. Zowel op de maan als in deze onderste laag kan men uitsluitend breukverschijnselen verwachten. Op IJsland ligt de onderste aardkorstlaag bloot: de gesteenten en tectonische vormen zijn duidelijk maanachtig.»

◁ **114** · Kosmisch kogeltje, afgezet in het westelijk deel van de Grote Oceaan.



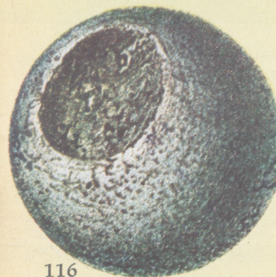
115

115 · Afzettingen op de zeebodem aan de kust van Australië, op een diepte van 750 m. Globigerinenslik met foraminiferen. Tussen de opgehoopte schalen van de organismen donkere, glimmende, metallieke kogeltjes. △

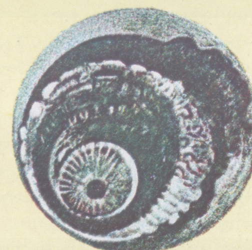
116 · Kosmisch, magnetisch kogeltje van 4.750 m diepte uit het zuidelijk deel van de Grote Oceaan.

117 · Kosmisch, magnetisch kogeltje van 4.700 m diepte uit het zuidelijk deel van de Grote Oceaan.

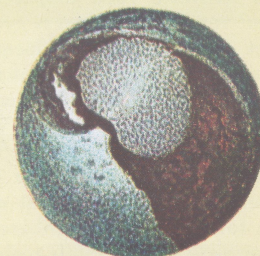
118 · Kosmisch kogeltje van dezelfde diepte uit het westelijk deel van de Grote Oceaan. Zo beschreef Murrey de metallieke bezinksels met een ijzerkern, hun doorsnede bedraagt fracties van een mm.



116



117



118

Diepzeesedimenten. De afzettingen op de zeebodem en de uitgestrektheid daarvan waren al lang bekend. Maar men kan nu met nieuwe methoden en apparaten ook in de diepte van de sedimentlagen doordringen.

Het zuigerdieplood van Kullenberg, een stootpijp, wordt in de sedimentlaag gedreven. Door een inwendige beweegbare zuiger wordt onderdruk verwekt, die de plastische bezinking in de buis zuigt. Men kan monsters van 20 m lengte nemen, en daardoor de afzettingen op de diepzeebodem tot het eind van het Tertiair nagaan en 2 tot 4 miljoen jaar oude lagen onderzoeken. De bezinking bestaat uit erosieafval der vastelanden, verwaaide vulkaanas en schalen van in zee drijvende planktonorganismen.

De kleur van het bodemslik is afhankelijk van de herkomst: blauw, rood, groen slik, vulkaanmodder en koraalmodder bedekken de bermen der continenten op 200—4.000 m diepte.
Op grotere diepten, op de bodem van de diepzee, bezinken op vlakten van bijna 300 miljoen km² globigerinenslik, slik met overblijfselen van pteropoden (een slakkensoort), diatomeeënslik, radiolariënslik en tenslotte rood diepzeeleem. 133 km² van de zeebodem is evenwel met het taaie, bruinrode leem bedekt, waarin kiezelhuisjes, microscopisch kleine mineralen en deeltjes van kosmische oorsprong zitten.

De tot een meter grote mangaanklompen — een nog niet ontgonnen en tot dusver onontginbare schat die over 10% van de totale zeebodem uitgestrooid ligt — groeien in 1000 jaar maar fracties van millimeters. Ze zouden dus al lang door de andere afzettingen bedekt moeten zijn geworden. Of de afzetting op de zeebodem verloopt zo langzaam, òf het slopingsproces gaat ook in de stilste, meest onbewogen en ongestoorde gebieden door. En dit was een van de vele verrassingen van het IGY: de diepzee heeft van talrijke storingen te lijden. «Er komen steeds meer aanwijzingen van erosie, aardverschuivingen, onberekenbare toevoer uit hogere waterlagen door aanspoeling van vaste deeltjes en vermenging van lagen door woelorganismen.» (Seibold)

De ouderdom van de Grote Oceaan. Men was het er over eens dat de bodem van de Grote Oceaan ongeveer twee miljard jaar oud is. Volgens de laatste gegevens over afzettingssnelheid zou die bodem een 3 km dikke sedimentlaag moeten hebben. Maar de seismische onderzoekingen gaven als resultaat maar 0,3 km: de Stille Zuidzee zou dus pas in de Middeleeuwen der aardhistorie, 200 miljoen jaar geleden, ontstaan zijn.

«Maar er schijnt nog een ander argument voor de jeugdige leeftijd van de Stille Oceaan voort te vloeien uit een totaal andere gedachtengang. Sedert de Tweede Wereldoorlog zijn daar ontelbare onderzeese bergen gepeild, die blijkens hun vorm en met sleepnetten opgehaald gesteente vulkanen zijn geweest. Een aantal er van lijken op stompe kegels. Ze zijn onder de naam guyots (naar de geograaf Arnold Guyot) bekend geworden en hebben bovenaan een doorsnee van soms 40 km. Hun dak ligt in het westelijk deel van de Stille Oceaan gemiddeld ongeveer 1460 m beneden de zeespiegel. Wij kunnen ons hun ontstaan moeilijk anders voorstellen dan dat ze oorspronkelijk boven de zeespiegel uit gereikt hebben. De beweeglijke golven van de open zee braken de ten dele uit los materiaal bestaande kegels af, daarna zonken ze weg tot in de tegenwoordige diepte. Ook voor de atollen moet immers een dergelijk wegzinken aangenomen worden. De boringen van 1952 hebben merkwaardigerwijze eveneens op 1.400 resp. 1.280 m diepte de vulkanische basis van het koraalrif aangeboord. Meer nog: deze boringen doorsneden een continuë reeks lagen rifsedimenten tot in het Eoceen (50 miljoen jaar geleden, in het Tertiair); de riffen zijn dus sedertdien — erg langzaam — gezonken. Paleontologische vondsten op de bovenvlakken van de guyots duiden er op dat ook die sinds ongeveer de grens tussen Krijt en Tertiair aan het zinken zijn.» (E. Seibold)

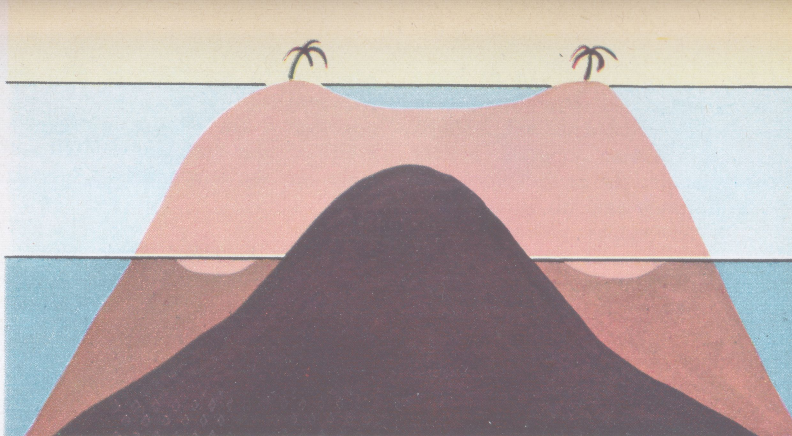
Dit zou dus, naast de geringe dikte van de sedimentlaag, een tweede argument voor de jeugdigheid van de Stille Zuidzee zijn. Maar E. Seibold voegt er aan toe, dat guyots en atollen op nauw begrensde, regionale tectonische banen op de zeebodem wijzen.
Ook de seismische conclusies ten aanzien van de sedimentdikte in de Stille Oceaan waren niet in het algemeen geldig: ze betroffen alleen het bovenste sediment dat nog niet vast geworden was. Wat er na al die opwindende onderzoekingen en beschouwingen overblijft is dit: het sediment op de Zuidzeebodem is ongeveer 3 km dik, hij is ongeveer 2 miljard jaar oud, men twijfelt niet meer aan zijn ontstaan in de oertijd.

Kosmische kogeltjes. John Murray heeft de ‹kosmische kogeltjes› die hij uit afzettingen en mangaanklompen kon winnen, beschreven. Hij was er al van overtuigd dat ze van ijzermeteorieten afkomstig waren, welker oppervlak door wrijving in de lucht gesmolten was.

De Zweed A. N. Nordenskjöld legde in 1874 aan de Koninklijke Academie van Wetenschappen in Stockholm sneeuwmonsters voor, waaruit hij kleine hoeveelheden van een zwart magnetisch poeder afgezonderd had. Ze bevatten metalliek ijzer. Ook hij onderstelde dat dit materiaal van kosmische herkomst was.

H. Petterson onderzocht in 1946 de afzetting van kosmische materie op aarde. Hij bepaalde het totale gewicht van het kosmische stof dat per jaar de aarde bereikt op vijf miljoen ton. Daarvan zet zich op iedere cm² van de zeebodem 0,000 000 025 g nikkel af. Het nikkelgehalte van het rode leem op de diepzeebodem zou 0,017% moeten bedragen.

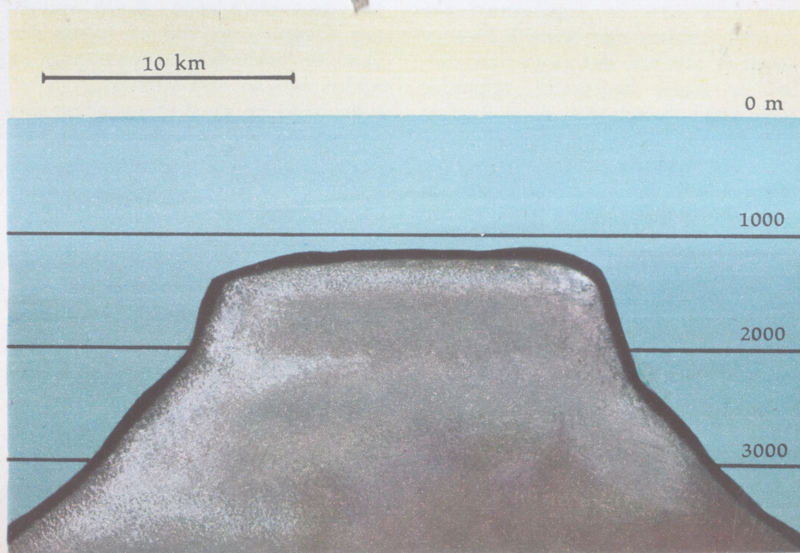
Volgens E. J. Öpik zijn de door Murray en Petterson onderzochte kogeltjes afkomstig uit de zodiakale wolk, deeltjes daarvan zouden door wrijving in de atmosfeer tot ijzer-nikkeldruppels worden samengevoegd.



△ **119** · Het ontstaan van een atol of lagunerif uit de skeletten van koraaldiertjes. Het vulkanische voetstuk van een koraalrif zinkt langzaam weg, zodat de koraaldiertjes genoodzaakt zijn, naar boven te bouwen. Het rif sluit een rond of ovaal waterbekken in, de lagune.

120 · Schematische tekening van een onderzeese guyot of tafelberg, ten ▽ Z. van Eniwetok. In de loop van miljoenen jaren werd de top, die vroeger boven de zeespiegel lag, door branding geërodeerd.

121 · Foto van het Gardner-atol in de Grote Oceaan (Phenixarchipel). Het met kokospalmen begroeide land, het zandige strand, de door water bedekte zandstrook en de overstroomde rifplaat zijn te onderscheiden. ▷





122 · Scheve opname van een onderzeese lavastroom aan de zijkant van een vulkanische verheffing op een diepte van 1.317 m. Deze documentaire foto werd genomen op een zeeheuvel ten noordoosten van Madeira en toont een onderzees lavaveld met mangaankleed. Het ontbreken van afzettingen uit de zee duidt erop dat er in dit gebied geen aktieve stromingen zijn. Het gezichtsveld omvat ongeveer tweemaal 10 m.

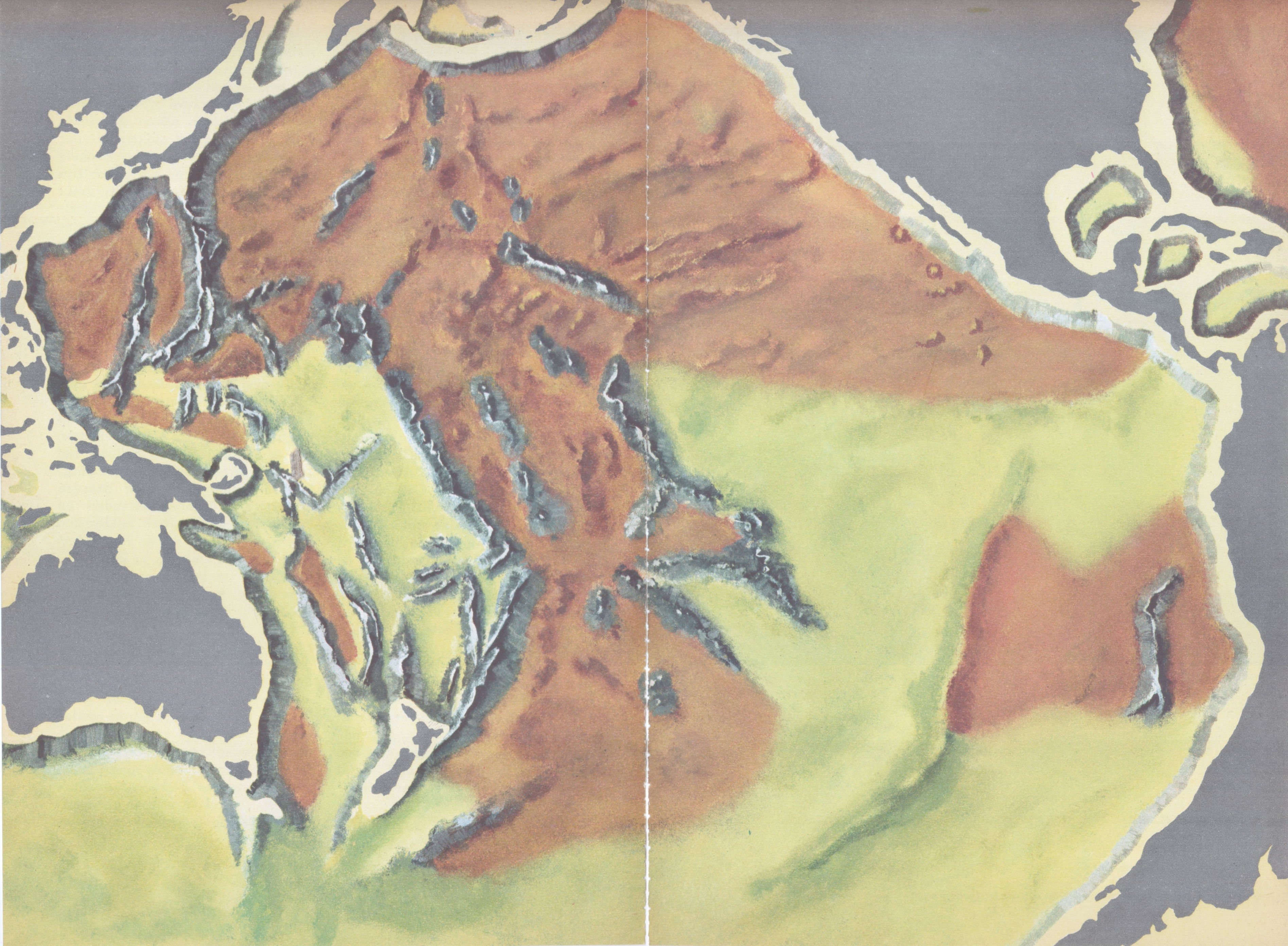
Geologie van de zeebodem. «De geoloog ziet de morfologie en de sedimentlaag van de zeebodem als resultaat van gebeurtenissen in de tegenwoordige aardkorst en de tegenwoordige zee. Als hij dit alles in één verband weet te zien, kan hij ook proberen, de ontwikkeling van de afzettingen onder de bovenste, huidige laag te verklaren. Daardoor krijgt hij inzicht in de geschiedenis ervan en daardoor weer in de geschiedenis van de zeeën.» (E. Seibold)

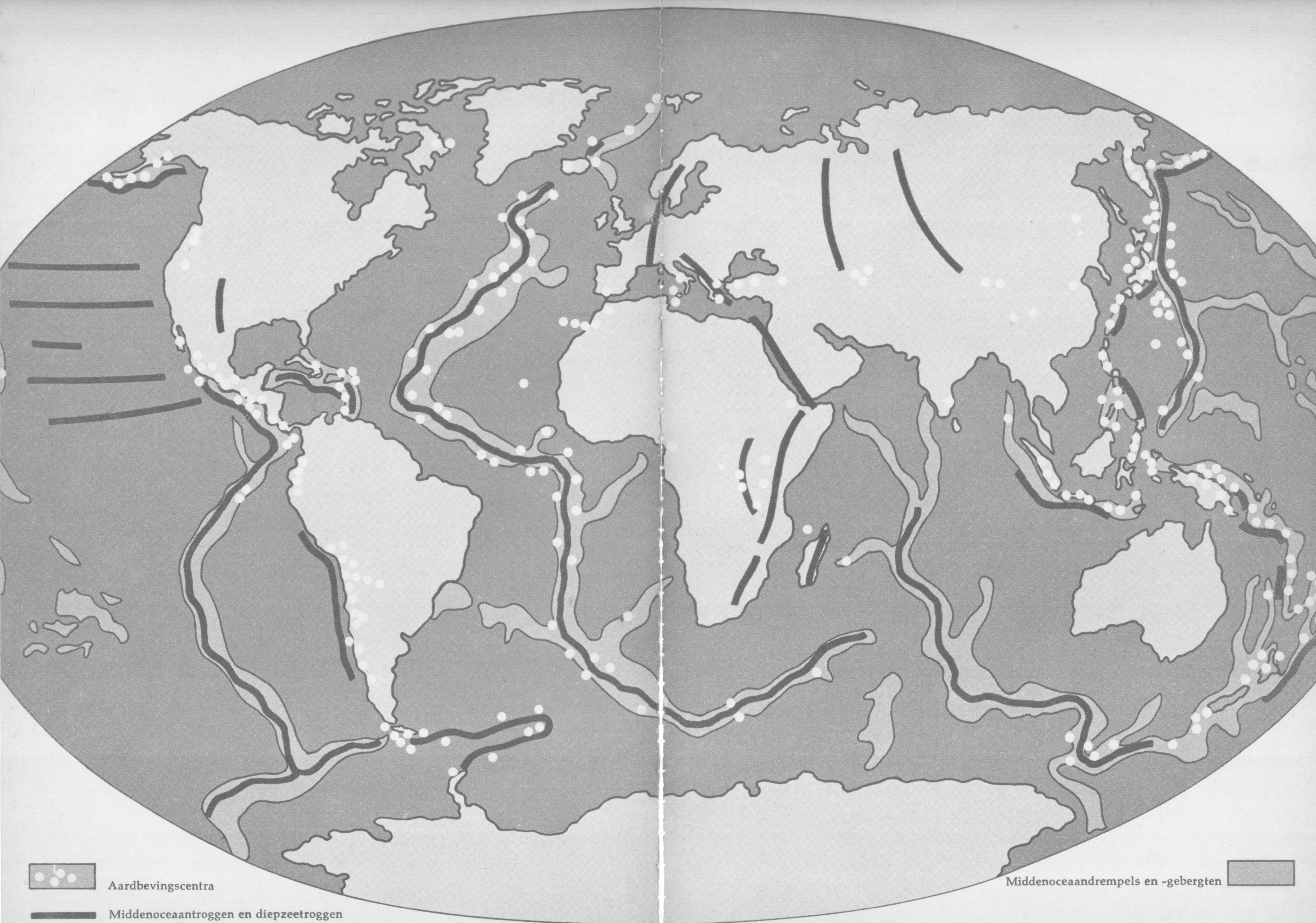
Als wij olie boren of uit steengroeven gesteenten halen, verkrijgen wij fossiele zeebezinkingen. Ze geven ons een beeld van wat in verleden aardperioden de zeebodem bedekt heeft, het verheldert onze voorstelling van de toestanden die toen op aarde geheerst hebben, en geeft ons een beter inzicht in ligging en bouw van de door de industrie verwerkte schatten.

Het fotograferen van de zeebodem. Een revolutionaire vooruitgang in het onderzoek van de zeebodem brachten de automatische camera's. Ze werden gedurende de Tweede Wereldoorlog ontwikkeld; het was erom te doen tot zinken gebrachte schepen te fotograferen of de voortplanting van geluidgolven te onderzoeken.
Het National Institute of Oceanography maakte met de nieuwe camera's reeksen foto's, die de zeebodem van een afstand van een paar meter tot 5500 m diepte toe opnamen. Zwart-wit-foto's, kleurenfilms en stereoscopische foto's verschaften nieuwe gegevens over de geologische en zoölogische toestand van de zeebodem. Om de foto's wetenschappelijk te kunnen verwerken werden tegelijkertijd topografische opnamen gemaakt van een groot gebied, en door boringen en met sleepnetten werden grote oppervlakken systematisch onderzocht. Dank zij deze systematische werkwijze konden de op de foto's voorkomende details in groter verband gerangschikt worden. Het Amerikaanse exploratieschip ‹Vema› — waar ook onze afb. 122 aan te danken is — heeft de Atlantische bergrug gefotografeerd. De opnamen geven het volgende beeld: steile hellingen en verbrokkelde stukken rots, die op het losse gesteente lijken dat op het vasteland voorkomt. Op de rots- en lavakruinen van de grote Atlantische bergrug weinig vastzittende dieren. De verwerking en verklaring van het materiaal veroorloofde de conclusie, dat er op de toppen van de Atlantische rug, die de Oceaan in een westelijk en een oostelijk bekken verdeelt, een zeer langzaam afzettingstempo bestaat. In latere tijden moeten er ingrijpende geologische omwentelingen hebben plaatsgehad, wat men vooral afleidt uit het geringe aantal vastzittende dieren.

123 · Na het IGY kon er een voorstelling van de zeebodem onder de Stille Oceaan uitgewerkt worden.
Het bekken van de noordelijke Grote Oceaan is een rauw, wild gespleten gebied. Glad zijn alleen de vlakte voor Alaska en het slijkterras voor Californië. Hawaïi rijst als hoogste berg van de aarde 11 km boven zijn basis op, en de Marianentrog reikt tot bijna 12 km diepte. In tegenstelling tot de Atlantische Oceaan is er in de Grote Oceaan geen gebergte dat het bekken in tweeën deelt.
Langs de westkust van Zuid- en Noord-Amerika loopt de ‹East Pacific Rise›, een verheffing die waarschijnlijk tot aan de aardbevingszone van de San Andreasbreuk in Californië reikt. Vier kloven splijten het noordelijk deel van de Zuidzee van oost naar west: de spleten Mendocino, Clarion, Murray en Clipperton. Tot het 64.000 km lange wereldgebergte, dat de aarde omgordt, behoort het 4.800 km brede Oostpacifische bergland. De hoogste toppen daarvan duiken als Galapagoseilanden en Paaseiland op. In het zuidwesten liggen de Tonga- en de Kermadec-troggen, 2.560 km lang, 11 km diep.
Lichtgeel = litorale sedimenten
Roodachtig = rood diepzeeleem
Groen = globigerinenslik ▷

124 · Kaart van het spletenstelsel dat de aarde omspant, de oceaandrempels, de troggen en de actieve aardbevingszones. De spleten in de aardbol, de bergketens aan de randen van de continenten en op de bodem der oceanen, en de aardbevingsregionen hangen nauw samen. Dit zijn de zwakke plekken van onze planeet, die telkens weer in geboorteweeën ligt en telkens weer nieuwe bergketens baart. ▷




Aardbevingscentra
Middenoceaantroggen en diepzeetroggen
Middenoceaandrempels en -gebergten

XI

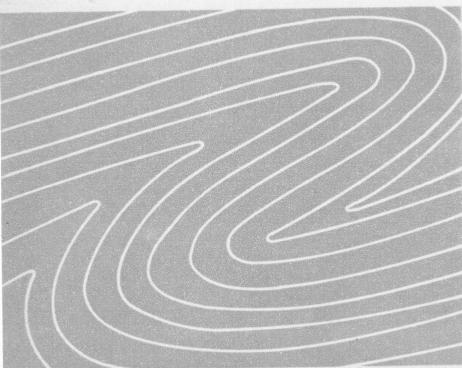
DE BEWEGINGEN VAN DE AARDKORST

De kringloop van de stoffen in de aardkorst. In de aardkorst heeft een onafgebroken kringloop van stoffen plaats. Het magma, de gloeiende silicaatpap, stijgt uit het binnenste van de aarde op, koelt af, stolt en kristalliseert. Er vormt zich magmagesteente, ook eruptiefgesteente geheten. Zodra dit aan atmosferische invloeden blootgesteld is, begint de erosie door lucht, water, ijs, hitte, koude en wind. De uiteengevallen gesteenten worden door regen, stromend water, wind of ijs vervoerd. Stukken met scherpe kanten worden rolstenen, rolstenen worden zandkorrels of stof, zo wordt het gestolde magma afzettingsgesteente of sediment. Het losse sediment kit samen. Leemslik wordt leem, kalkslik wordt kalksteen. De druk van bovenliggende lagen en chemische processen veroorzaakt op den duur de diagenese, de omzetting van losse sedimenten in vast gesteente.

125 · Blokdiagram. De onafgebroken kringloop der stoffen in de aardkorst.

1 Verwering en sloping. 2 Verlegging van verweerd gesteente — transport. 3 Afzetting en vast worden van sedimenten — sedimentering en diagenese. A = Magmatische eruptiefgesteenten — schacht van een vulkaan, omringd door dieptegesteente en stollingsgesteente. B = Afzettingsgesteente — sedimenten. C = Veranderde of metamorfe gesteenten.

Magmagesteente of eruptiefgesteente. Het magma, de gloeiend vloeibare silicaatbrij die uit de diepte omhoog dringt, stolt ten gevolge van de daling van druk en temperatuur tot steen. Gebeurt dit binnen de aardkorst, dan ontstaan er diepte- of intrusieve gesteenten (plutonieten), b. v. graniet, dioriet, syeniet, gabbro. Als het magma tot de oppervlakte doordringt, stolt het tot effusie- of extrusiefgesteenten (vulcanieten), b. v. bazalt.



126

Metamorfe gesteenten. Bij de vorming van plooiingsgebergten en bij het opstijgen van magma treden grote veranderingen in druk en temperatuur op. Daardoor kunnen binnen de aardkorst zowel sediment- als magmagesteenten in metamorfe gesteenten veranderd worden. Metamorfe gesteenten kunnen nieuwe metamorfosen ondergaan. Men onderscheidt drie zones van regionale metamorfose: in de epizone ontstaan phyllieten, in de mesozone glimmerleisteen, in de katozone gneizen. Zandsteen wordt altijd tot kwartsieten, kalksteen wordt marmer.

126 · Omkanteling van lagen door plooiing. In zo'n verstoorde reeks lagen liggen de oudere boven en de jongere onder. Daar oorspronkelijk de reeks horizontaal lag, wordt de wet van de lagenvolgorde niet opgeheven.

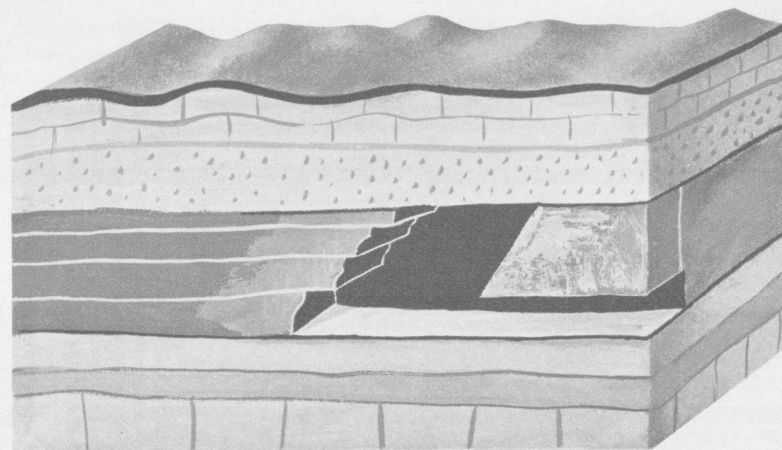
Volgorde van de lagen. Karakteristiek voor de sedimentgesteenten is, dat ze meestal duidelijk gelaagd zijn. De sedimenten hebben zich na elkaar in een reeks min of meer dikke lagen afgezet; ze zijn vaak gelaagd als de bladen van een boek.

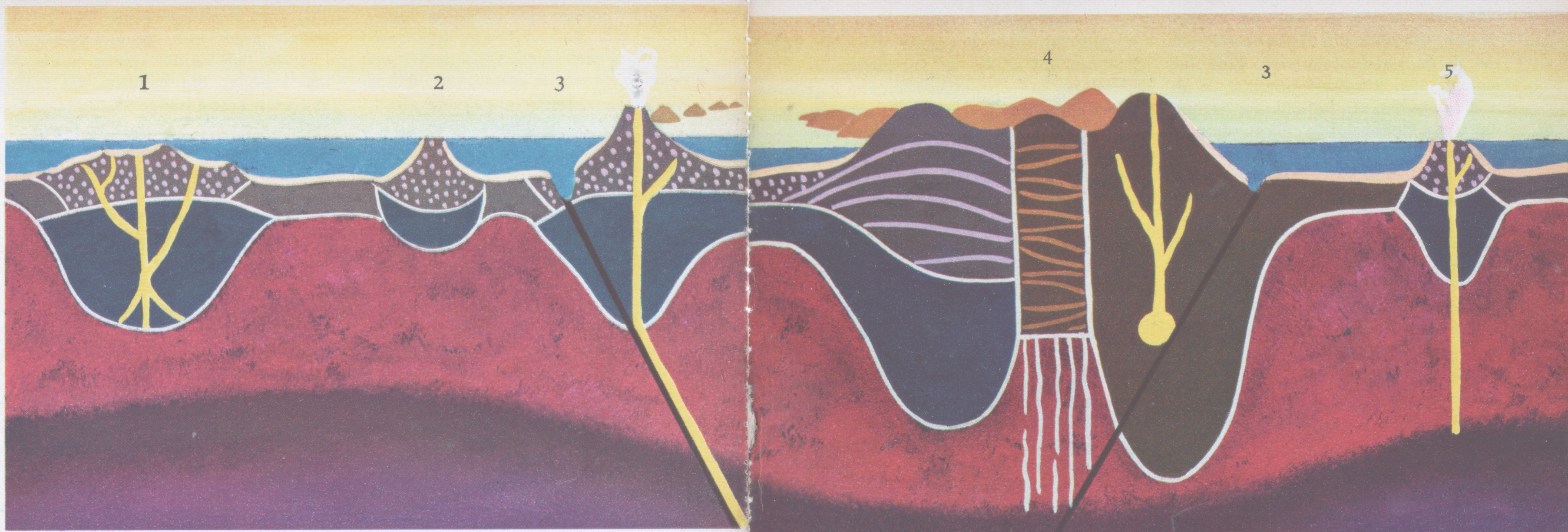
Over de volgorde van de lagen schrijft R. Kettner: «Als een reeks lagen van hetzelfde petrografische karakter (petrografie: gesteentekunde), b. v. leisteen, boven elkaar liggen, dan vormen ze samen een lagenserie, een lagencomplex of een lagenreeks. De volgorde waarin de lagen in het systeem boven elkaar liggen heet lagenvolgorde. Daar de lagen een voor een op elkaar zijn komen te liggen, geldt hier in het algemeen de wet, dat de onderste lagen ouder zijn dan de bovenste. De onderste laag, de basis of zool, is de oudste van allemaal.» Voor de stratigrafie (stratus: laag, stratigrafie: leer van de geologische volgorde van sedimentgesteenten) is dit de hoofdwet. Hiernaar wordt de relatieve ouderdom van de lagen bepaald. Maar in de natuur wordt de oorspronkelijke volgorde soms door gebergtevormende krachten verstoord. Een lagenreeks kan door plooiing gekanteld en omgekeerd worden. Het is dan aan de geoloog om te ontdekken, dat en waardoor de lagen omgekeerd zijn.

Diagenese. Over de verandering van los sediment in vast gesteente schrijven C. Beringer en H. Murawski: «Diagenese omvat de meest uiteenlopende processen: samendrukking door hogere lagen waarbij een groot deel van het in los sediment aanwezige water wordt weggeperst, uitloging, omkristallisatie, gelijktijdige uitkristallisatie, toevoer van oplossingen met afscheiding van bindmiddelen (het cement dat de afzonderlijke ruimten tussen de corpuscula van een sediment vult), vorming van concreties (concrescere: samengroeien), fossilisering van organische bestanddelen der sedimenten.»

127 · In deze lagenreeks ligt tussen andere lagen een steenkoolbedding. Liggend gesteente noemt men de lagen onder die bedding, de lagen er boven heten hangend. De laag die vlak boven een andere ligt, heet ook wel deklaag, de onderliggende laag heet ook wel zoollaag.

Voordat de geoloog met kernfysische methoden de absolute ouderdom van mineralen en gesteenten kon vaststellen — en dat is nog helemaal niet zo lang — kon men alleen de relatieve ouderdom van een sedimentlaag bepalen. De geoloog kon alleen vaststellen tot welke geologische formatie een gesteente behoorde en of het jonger of ouder dan een ander was. Het onderzoek van radioactieve processen in de aardkorst en de atoomfysica, onze kennis van de halveringstijd der elementen maken het mogelijk, ook de absolute ouderdom van lagenreeksen te bepalen.





128 · Dwarsdoorsnede door de aardkorst tot 100 km diepte. Blauw = oceanen. Rose = sedimentlagen. Geel = vulkaanschachten. Lila = eruptiefgesteente. Blauwgrijs = vloeibare lava. Bruin = licht, dicht en ongelaagd graniet onder de oppervlakte der continenten. Bruin en blauwgrijs: de boven- en onderkorst van sial en sima. Rood: de aardmantel.

1 bergrug midden in de oceaan, 2 onderzees gebergte, 3 troggen, 4 continent, 5 vulkanisch eiland.

Het grensvlak tussen aardkorst en aardmantel ligt onder de continenten ongeveer 35 km diep, onder de oceanen slechts 8—10 km. Dit grensvlak verraadt zijn aanwezigheid door een plotselinge sprong in de voortplantingssnelheid van de aardbevingsgolven. Naar de ontdekker, de Joegoslavische geofysicus Mohorovicic, heet deze laag de ‹moho›. Misschien is de z. g. ‹Mohorovicic-discontinuïteit› de grens tussen de vaste en de brijvormige aarde.

De Amerikanen zijn van plan, in de Atlantische Oceaan voor Porto-Rico door de moho heen tot in de aardmantel te boren. Dit ‹mohole›-plan moet in 1962 uitgevoerd worden. Men hoopt op deze wijze een doorlopende filmbeeldachtige chronologie van het leven op aarde te krijgen en bovendien inzicht in de structuur van de aardkorst.

Relatieve datering van de laatste ijstijd. Voordat de ‹koolstofklok› de ouderdom van vroegere aardperioden kon meten, vierde de stratigrafische geologie nog een ware triomf.
Omstreeks 1900 onderzocht de Zweedse geoloog Gerard Baron de Geer de lagenseries van kleiafzettingen die gedurende de laatste ijstijd in het gletsjerwater hadden plaatsgevonden (verg. blz. 113).
De smeltende gletsjers van de laatste ijstijd lieten in de meren onder hun voet boven elkaar liggende kleibanden achter, de ‹warven›. In deze afzettingen zijn de zomerbezinksels verbazend duidelijk als lichte, de winterlagen als donkere banden te zien. Een stel lichte en donkere banden geven nauwkeurig één jaar van de ten einde lopende ijstijd aan. De Geer kon vaststellen, dat er zich tijdens het terugtrekken van het ijsfront het ene gestuwde meer na het andere gevormd had. Zo tekenen de kleibanden over verscheidene honderden km in deze meren de terugtocht van de ijstijdgletsjers naar het noorden op. In vaak ononderbroken volgorde duiden de ‹warven› de chronologie van de terugtocht van het ijs aan — en daarmee ook het eind van de laatste ijstijd. Wat De Geer echter niet vond, was het vaste punt dat de absolute datering van de warven mogelijk zou hebben gemaakt. De vraag hoeveel tijd er tussen de afzetting van de laatste kleibanden en onze tijd verlopen is, kon niet worden beantwoord.

Absolute datering van de ijstijd. Nadat de relatieve chronologie van de ijstijd vastgesteld was, ging het er om, een absoluut houvast in de tijd te vinden. «In het dal van het pas in 1796 leeggelopen Ragundameer meende man weliswaar een gebied te hebben gevonden, waar de kleibandenvorming tot 1796 doorgegaan zou zijn, maar deze onderstelling bleek een vergissing. Daarentegen ontdekte DE GEERS leerling LIDEN in het dal van de Angermanelf in Noord-Zweden bandvormingen die tot in historische tijd reikten (er werd een dateerbare koperen munt gevonden), zodat het zo ernstige hiaat in het chronologische systeem der warven op die manier gesloten kon worden.» (H. Steinert)

Het eind van de ijstijd. In Midden-Zweden werd een ‹warve› van opmerkelijke dikte gevonden. Hij was ontstaan door een buitengewone gebeurtenis. Uitgaande van het vaste jaartal van de koperen munt kon DE GEER met behulp van de leembanden-tijdrekening het tijdstip precies bepalen: de buitengewoon dikke, omvangrijke ‹warve› was in 6839 voor Chr. ontstaan.

Toen was het laatste landijs dat op de Noorse en Zweedse bergen lag, gebroken. Dus ongeveer 8880 jaar geleden had een door het ijs opgestuwd meer het laatste dunne halfgesmolten ijsfront doorbroken, en het water stortte zich uit over de vlakte van Midden-Zweden, enorme puinmassa's, stenen en heuvels meesleurend. Voor Zweden geeft deze warve het ‹jaar nul› aan in de tijdrekening van DE GEER: het eind van de laatste ijstijd.

Er bleven echter resten van het landijs op het hooggebergte van Scandinavië achter: er vormden zich gletsjers.
Uit de chronologie van de warven kan nog een andere datum afgelezen worden, die als het eind van de laatste koudeperiode aangeduid kan worden. In de kleibanden in Midden-Zweden staat duidelijk aangegeven: «Want de daarna opnieuw beginnende terugtocht van het ijs laat tussen het terugwijkende gletsjerfront en het ijsvrij wordende Billigenmassief in West-Gotland plotseling een open gat ontstaan. Daardoorheen stort zich in een vermoedelijk ontzettende katastrofe het water van een ander reusachtig stuwmeer, dat ongeveer het gebied van het midden en de oostelijke helft van de Oostzee omvat, uit in de Noordzee. Waarschijnlijk als onderstroom dringt dan, nadat vermoedelijk bijna dertig meter smeltwater uit de Oostzeestreken weggestroomd is, zout Noordzeewater de Oostzee binnen; het brengt een halfarctische fauna mee. De schelp Yoldia arctica die toen in de Oostzee terechtkwam, is het toonaangevende fossiel van deze ontwikkelingstoestand van de Baltische zee, die nu pas van een smeltwatermeer een zee wordt en onder gedurige wisseling van verzoeting en verzilting de tegenwoordige toestand bereikt. Dit geweldige schouwspel van de doorbraak moet volgens de warven in 7912 v. Chr., dus 1073 jaar voor het jaar nul van De Geer afgelopen geweest zijn. In de ‹jaarringen› kan dit moment in zoverre zeer duidelijk afgelezen worden, dat de tot dan toe grijze en kleiachtige warven er plotseling meestal bruinachtig en lemig gaan uitzien.» (H. Steinert)

Bewegingen in de aardkorst. De continenten rijzen langzaam, en even langzaam zinken ze ook weer en duiken met hun wortels in het binnenste der aarde terug.

Op de bodem van de oceanen zetten de slijkstromen zich af, die van het aardoppervlak in zee vloeien; na miljoenen jaren worden ze opgeheven, vormen land, plooien zich tot gebergten. Het smeltwater van de gletsjers, regen en wind, het water van de rivieren en meren vervoeren verweerd gesteente: de bergen worden vlak; op de bodem van de ‹nieuwe oceanen› hopen zich de lagen weer op. Lagen gesteente worden geplooid en gescheurd, vlakten rijzen en dalen. Een voorbeeld: de woeste Coloradorivier heeft zich in de loop van een miljoen jaar anderhalve km diep ingevreten in het gesteente en zijn dal uitgeslepen *(verg. afb. 83)*. Maar tegenwoordig komt hij uit een landschap dat dieper ligt dan de hoogvlakte van de Coloradocanyon. Het plateau was vroeger een laagvlakte; terwijl die geleidelijk omhoog rees, sleep het water van de rivier het stijgende land uit.

Met ontelbare dergelijke bewegingen die met elkaar in verbinding staan en elkaar wederzijds aanvullen of opheffen, voltrekt de kringloop van de massa's zich in de aardkorst; hun dynamiek kunnen wij nu enigermate doorzien.

De opbouw van de aarde en de seismische snelheid. Mohorovičić heeft vastgesteld dat de materie in de aardmantel, dus onder de aardkorst, andere fysische eigenschappen heeft dan in de aardkorst.

Het gesteente van de continenten verschilt essentieel van dat in uitgestrekte delen van de zeebodem. Onder de sedimentgesteenten van de continenten liggen, meestal verborgen, oeroude steenmassa's: graniet, gneis, metamorfe leisteen: de schilden uit de oertijd der aarde. Ze kunnen als de wortels van bergstreken beschouwd worden, opplooiingen uit de oertijd of oudheid van de aarde. Deze verschillen tussen aardkorst en aardmantel, continent en zeebodem, sedimenten en schilden weerspiegelen zich in de voortplantingssnelheid van aardbevingsgolven, de z. g. seismische snelheid.
In de aardkorst, dus boven de moho, neemt de seismische snelheid toe met de diepte. Daaruit leidt men af, dat er tussen de granieten der vastelanden en de moho bazaltlagen zitten. Deze bazaltlaag ligt zonder granietkleed op de bodem van de diepzee direct bloot.

De aardbevingsgolven planten zich in de jongere, lossere, lichtere sedimenten voort met een snelheid van 1.8—2.1 km/sec. In oudere, vastere sedimenten bedraagt de voortplantingssnelheid 4.5—5.5 km/sec.

Door de aardkorst tot aan de moho is de voortplantingssnelheid 6.7—7.0; in de diepte aan gene zijde van de moho, dus in de aardmantel, is zij 8,3 km/sec.

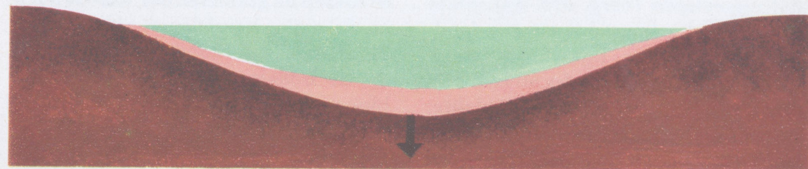
Tegelijk met het verspringen van de golfsnelheid verandert ook de dichtheid van de materie, nl. van 3.05 tot 3.3 g/cm^3.

129 · Een geosynclinaal: een beweeglijke, diep en betrekkelijk snel inzinkende zone in de aardkorst (slenk). Na het inzinken in de regel door de zee en zijn afzettingen bedekt.

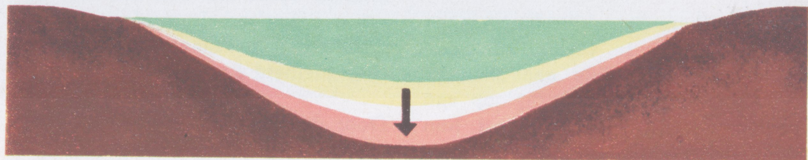
C. Beringer en H. Murawski definiëren de geosynclinaal als een langgerekt veld van een paar honderd km breedte en vaak meer dan 1.000 km lengte, dat tussen harde belendende landen sterk inzinkt.
De ontwikkeling van een geosynclinaal gaat zeer vaak al tijdens de sedimentatie met een levendige vulkanische activiteit gepaard. Een synclinaal wordt later plooiingsgebied. Als de plooiing inzet, begint het proces van de gebergtevorming (orogenese).

a = het vroege stadium van inzinking en sedimentatie,

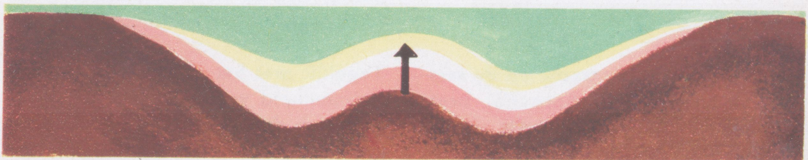
b = voortgaande sedimentatie,
c = de beginnende plooiing.



a



b



Seismische golven — onderzoekingsmethoden. «Alle ontelbare dagen von ons leven hebben ons geloof aan de onbeweeglijkheid van de grond waarop wij staan bevestigd. Als de grond nu plotseling beeft, treedt er op geheimzinnige wijze een onbekende natuurkracht op als iets eigenmachtigs, dat het vaste doet trillen. Eén ogenblik vernietigt de illusie van het hele vroegere leven. Men ervaart de aardbeving als iets alomtegenwoordigs, onbegrensds.» (Alexander von Humboldt)

Voor de geoloog zijn aardbevingen niet alleen schokkende natuurverschijnselen, maar ook gelegenheden om dieper inzicht te verkrijgen in de geheimen van de structuur van onze aardbol. Hij veroorzaakt zelfs opzettelijk kunstmatige bevingen — tijdens het IGY b. v. voor het onderzoek van Antarctica — om uit het verloop van de aardbevingsgolven en de seismische snelheden de toestand van aardkorst, aardmantel en aardkern af te kunnen leiden.

Het belangrijkste werktuig van de seismoloog is de seismoscoop. Dit instrument beoogt, zoals zijn naam ‹ik zie de aardbeving› uitdrukt, de bevingsgolven zichtbaar te maken. De seismografen tekenen de golven meteen op.
De oudste seismoscoop is vermoedelijk omstreeks 130 v. Chr. uitgevonden: de draakseismoscoop, waarvan enkele jaren geleden een kopie vervaardigd is voor het aardbevingsinstituut van de universiteit van Tokio, nl. een koperen schaal met op de rand op gelijke afstanden acht drakekoppen. Op de tong van iedere drakekop ligt een koperen kogel. Onder de draak spalkt een bronzen schildpad zijn bek open. Bij de geringste trilling valt de kogel uit de muil van de draak die het dichtst bij de bevingslijn zit, in de bek van de schildpad. Zo kan de aardbeving en engeveer de richting vastgesteld worden.

De Chinees Tsjang Heng heeft vele eeuwen geleden een seismoscoop gemaakt, bestaande uit een schaal met kwik en met stervormig aangebrachte tuitjes in de rand. Die leidden naar kleine schaaltjes die het kwik konden opvangen. Bij een aardschok liep het kwik weg door dat tuitje dat in de richting van de stoot wees, en uit de hoeveelheid weggelopen kwik probeerde men zelfs, de kracht van de aardbeving af te leiden.

In de namiddag van 15 augustus 1950 werd het water van bron 12 in Nauheim geelrood. Op hetzelfde ogenblik bewoog de waterspiegel van een fontein in Inheiden (Taunus), hij schommelde heen en weer. Dezelfde dag om 15 uur 20 minuten 30 seconden tekenden de seismografen van 450 aardbevingsstations op de hele aarde bevingsgolven op, die met een snelheid van 20.000 km/h de aardkern doorliepen en over het aardoppervlak cirkelden. Zuid-Tibet en de provincie Assam in Noord-India werden op dat tijdstip door de sterkste aardbeving sedert mensenheugenis bezocht. De verkleuring van de bron in Nauheim en de schommelingen van een dorpsbron in de Taunus gaven een aardschok aan die op 10.000 km afstand en op een diepte van honderden km optrad. Grondwater, bronnen en de waterspiegel van bronneschachten zijn dus fijne indicatoren. Het water van de bron in Inheiden ontspringt uit de oude vulkaan Vogelsberg, en wel uit de bazaltspleten in de uitloper van de berg. Op de waterspiegel van de bron werd een registreerapparaat geplaatst dat in staat is elke golf afzonderlijk te noteren. Als de aardbevingsgolven horizontaal in het aardoppervlak lopen, werkt het gehele onderaardse waterreservoir van Inheiden als trage massa. De traagheidskrachten doen stromingen ontstaan, die schommelingen in het bronwater veroorzaken. De bron heeft in 1952 en 1953 nog twee bevingen aangegeven: een aan de kust van Oost-Siberië en een aan de kust van Oost-Azië.



Seismologie. Bijna de hele moderne seismische apparatuur berust op het principe van de omgekeerde slinger: er wordt een zwaar gewicht — tot 20 ton toe — aan een met de aarde verbonden hefboomstelsel opgehangen. Aan het gewicht zit een schrijfstift, die op een lopende papierstrook zonder onderbreking de bewegingen van de aarde noteert. Zodra de aardbevingsgolven de seismograaf bereiken, brengen ze het hefboomstelsel in beweging. Het gewicht blijft onbewogen en de aarde zelf maakt de bewegingen en dient als slinger.

Tegenwoordig gebruikt men meestal kleine verplaatsbare seismografen.

130 · De Stoss, top van de Säntisgroep.
Voorbeeld van een naar het N. overbuigende plooiingsrug of zadel — zoals het naar boven gerichte deel van een plooi genoemd wordt — in een krijtgebergte.

«De benaming plooi is slechts een beschrijvend begrip voor de buiging van een vroeger rechte structuur.

Deze regelmatige buigingen van lagen, waarbij golfberg en golfdal dicht bij elkaar liggen, kunnen op de meest verschillende manieren tot stand komen.» (C. Beringer, H. Murawski, R. Brinkmann)

131 · Siluurlagen, bestaande uit kalk- en leisteenlagen, in het Beraundal bij Praag. 500 miljoen jaar geleden zetten deze lagen zich afwisselend als kalkslik en leemslik op de zeebodem af. Die lagenstapel werd later door geweldige krachten samengeperst, opgeduwd, geplooid en ten dele gebroken, zodat de vroegere gladde laagligging, het ‹lagentapijt›, nog slechts met moeite te herkennen is.
Op de afb. is de afwisseling van witte kalklagen en donkere van vroeger leemslik duidelijk zichtbaar.
De vroeger meestal horizontale lagen kunnen door de werking van druk en spanning in de aardkorst veranderd worden. Er komen deformaties tot stand.
De krachten die daartoe leiden kunnen van tweeërlei aard zijn. Of ze werken als zijwaartse druk (tangentiaal) of in de richting van de zwaartekracht (radiaal). Beide krachten kunnen telkens twee soorten deformaties teweegbrengen: de samenhang van de laag blijft bewaard of wordt verscheurd (breuk, scheuring).

De geologie maakt een zeer nauwkeurig onderscheid tussen deze verschillende verstoringen van de lagen. — Een tangentiale kracht veroorzaakt een verandering waarbij de samenhang van de laag behouden blijft: plooien. Radiale krachten veroorzaken veranderingen, waarbij de samenhang van de laag behouden blijft: verbuigingen. — Tangentiale krachten veroorzaken veranderingen, waarbij de laag verscheurd wordt: overschuivingen. Radiale krachten veroorzaken veranderingen, waarbij de laag verscheurd wordt: breuken.

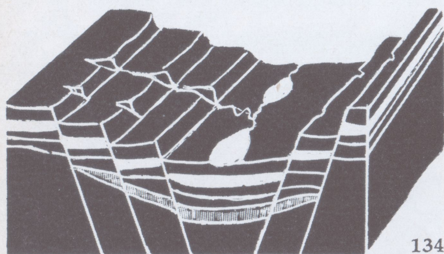




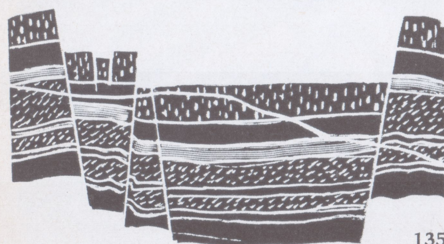
132



133



134



135

132 · Blokdiagram van twee discordanties. Als twee lagenseries op elkaar liggen, kunnen de lagen van beide reeksen hetzij parallel lopen — concordantie — of het bovenste complex kan in een afwijkende positie op het onderste rusten: discordantie.
Op onze afb. liggen — telkens discordant — lagen uit de oertijd der aarde, uit de oudheid en uit het Krijt boven elkaar.

133/134 · Verschuivingen en breuken *(verg. afb. 131)* treden meestal niet alleen op, maar vormen ‹breukenstelsels›, waardoor de lagencomplexen in een reeks van grondstukken verscheurd worden. Daaruit kunnen uiteenlopende tectonische vormingen ontstaan. De grondstukken zinken trapsgewijs: trapvormige breuk. De grondstukken zinken naar twee kanten weg, het middelste steekt uit: een horst *(afb. 133)*. De stukken zinken naar binnen weg, het midden zakt het diepst: een slenk *(afb. 134)*.

135 · Slenkvormige bouw van de lagen uit het Carboon met de steenkoolbekkens van Newcastle in Nieuw-Zuid-Wales, Australië.

136 · Schema van de anatomie van tectonische deklagen *(verg. afb. 131)*. Bij plooiingen kunnen door de tangentiale krachten lagencomplexen tientallen kilometers over andere lagen heen geschoven worden. Dit kan op twee manieren gebeuren: de geplooide complexen worden bij hun zool door een overschuivend vlak afgesneden of het middelste been van omgekantelde zeer vlak liggende plooien verdwijnt door ‹reductie›. ▷





Het noordelijke deel van het Zwarte Woud. Aan dit voorbeeld moeten enkele geologische problemen worden toegelicht.

Het westelijke deel van het gebergte bestaat uit graniet en korrelig-kristallijn gneis. Samengesmolten in diepe lagen van de aardkorst, zijn ze met het uit de diepte omhooggedrongen magma doordrenkt en doorkneed. Bovendien zijn er nog grote massa's graniet in gesmolten toestand in doorgedrongen. Naar het oosten toe verdwijnt dit primaire gebergte onder de vlakke lagen van het secundaire. Wij kijken hier tot in lage verdiepingen van een plooiingsgebergte. Terwijl bovenop laaggesteenten passief in plooien in elkaar geschoven worden, zijn wij hier al dichter bij dat deel van de aardkorst, waar de impuls tot die bewegingen van is uitgegaan.

In het zuidelijk deel van het Zwarte Woud ligt op dit kristallijne primaire gebergte gesteente uit het Carboon, dat al graniet- en gneisafbraak bevat. Daaruit volgt dit: het primaire gebergte van het Zwarte Woud behoort tot het centrale deel van die oude plooiingsgebergten die zich in verscheidene fasen, meer dan 300 miljoen jaar geleden begonnen, in het midden van het Europese continent ten hemel verhieven; naar de stad Hof (Euria Variscorum) wordt het het Variscische gebergte genoemd. Het puin van de al vroeg beginnende erosie werd tot in de laagten aan de voet van het gebergte vervoerd, die zich nog in het Carboon door plooiing vormden.
Tegen het eind van het Carboon en de volgende ‹roodliggend›-periode had de laatste plooiing plaats, maar de toen al stijf reagerende aardkorst liet zich alleen nog in zeer wijde plooien vouwen. Het erosiepuin verzamelde zich al in de wijde bekkens. 250 miljoen jaar geleden was er van

het eens zo machtige plooiingsgebergte nog slechts een vlak, woestijnachtig landschap over.
Gedurende het Trias (bonte zandsteen — mosselkalk — keuper) zonk de grond tussen het Boheemse en het Ardennenmassief langzaam. In de laagte drong van het zuiden uit rood zand binnen, van het noorden uit de vlakke zee. Na een periode met vastelandsomstandigheden werd het gebied in het Jura nogeens overstroomd: in de loop van bijna 150 miljoen jaar zette zich op het plooiingsgebergte in het noorden van het Zwarte Woud een 1.500 m dik secundair gebergte af. Na langzame erosie in het Krijt nieuwe onrust in de aardkorst: langs een oude zwakke strook die zich van Noorwegen tot de Middellandse Zee uitstrekt, boog de Bovenrijnse vlakte in een proces dat tot de ijstijd duurde, door, om eindelijk te breken en een kloof te vormen. De grootste diepte daarvan in de buurt van Heidelberg en Mannheim is met 4.000 m sediment opgevuld. Nu en dan maken bevingen bemerkbaar dat ook nu de spanningen in de aardkorst niet helemaal opgeheven zijn.

De randgebieden ten oosten en ten westen van de kloof — Zwarte Woud en Vogezen — waren tegelijkertijd opgetild. De erosie van het secundaire, op de romp van het Variscische gebergte gelegen gebergte, begon. Aan het eind van het Tertiair hadden de dalen zich tot op het primaire gesteente doorgeknaagd.
De optilling van het Zwarte Woud duurde ook tijdens de IJstijd voort, hetgeen vooral voor het rivierennet vele gevolgen had. De beken van de oostelijke Rijnkloof drongen door tot de bovenloop van zijrivieren van de Donau, tapten die af en voerden het water naar de Rijn (de Murg en de Kinzig).
De rijzing in de IJstijd maakte ook, dat de sneeuw zich verzamelde in hoog gelegen dalkommen en tenslotte kleine gletsjers deed ontstaan. Hoog op het Zwarte Woud vormde zich een uitgestrekte ijskap, waarvan de gletsjers tot in de dalen reikten. Hun bestaan wordt verraden door de dalvormen en achtergelaten eindmorenewallen. Dat was de grootste plaatselijke vergletsjering buiten de Alpen in de middelgebergten.

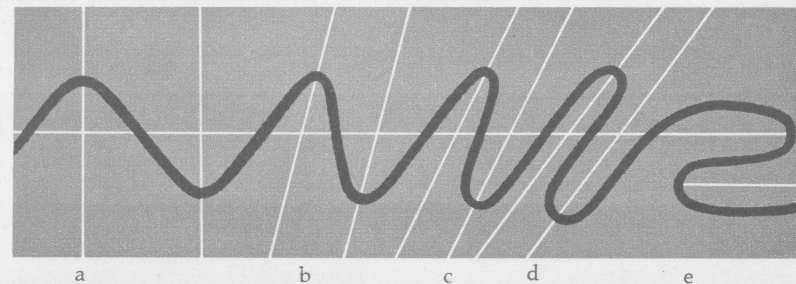
Het vroegere plooiingsgebergte is in de tegenwoordige landschappelijke fysionomie niet meer te herkennen. Dat wordt door andere structuren beheerst. Alleen de door erosie weer blootgelegde delen van het primaire gebergte vormen de geologische bewijzen van zijn bestaan.

De Bovenrijnse laagvlakte behoort tot het systeem, dat onze planeet doorsnijdt. Het Rijndal is dus nauw verwant met de kloven in Centraal- en Oost-Afrika en Abessinië, met de Rode Zee, de Golf van Aden en de Dode Zee. Hier kan men zonder een wereldreis te ondernemen, de reusachtige klovensystemen van de aardbol, de alle dimensie te buiten gaande lineamenten op de oceaanbodem, tot zich laten doordringen.
De badgast in Baden-Baden kan, zoals eens keizer Caracalla die de Civitas Aurelia Aquensis stichtte, de dampen in de diepte zien. Uit een bron die met een bronzen reiger versierd is, warrelt de damp van de thermen op. Uit een diepte van 2 km stijgen sedert miljoenen jaren de hete bronnen omhoog.



137 · Luchtfoto van een kom van Devoon-Carboonlagen in de Sahara, ten Z.W. van Aoulef. M. Schwarzbach zeide hiervan: «Wij zien met modelachtige duidelijkheid reusachtige, vlakke schotels van steenlagen. Het zijn kalksteen- en zandsteenlagen uit de Devoon- en Carboonzee, die tot een zeer wijde kom (synklinaal) gevouwen werden. De jongste lagen liggen daarbij in het midden.»

138 · Schematische aanschouwelijke voorstelling van verschillende soorten plooien. a = vertikale, b = scheve, c = gekantelde, d = isoclinale, e = liggende.





XII

VULKANEN

Stromboli. De Stromboli in de Tyrrheense Zee is — evenals zijn buurman Volcano waarop de mythen Hephaistos, de god-smid van de Grieken geplaatst hebben — een eilandvulkaan. Met rythmische tussenpozen werpt hij gloeiend, vloeibaar magma uit, dat al in de lucht stolt en als bommen en slakken neervalt.

Men noemt deze vorm van vulkanische werking, die kenmerkend is voor een bepaalde soort uitbarstingen, ‹stromboliaans›. Op de Stromboli gelijken wat hun uitbarstingen betreft b. v. de lavavulkanen op Hawaii, die ook dun vloeibare, gloeiende lava met temperaturen van ongeveer 1.300° C. als fonteinen uitwerpen.

De Stromboli werpt niet alleen lava en slakken uit en is ook niet zo onschuldig als men dacht. Dat bleek bij de uitbarsting van 1930.

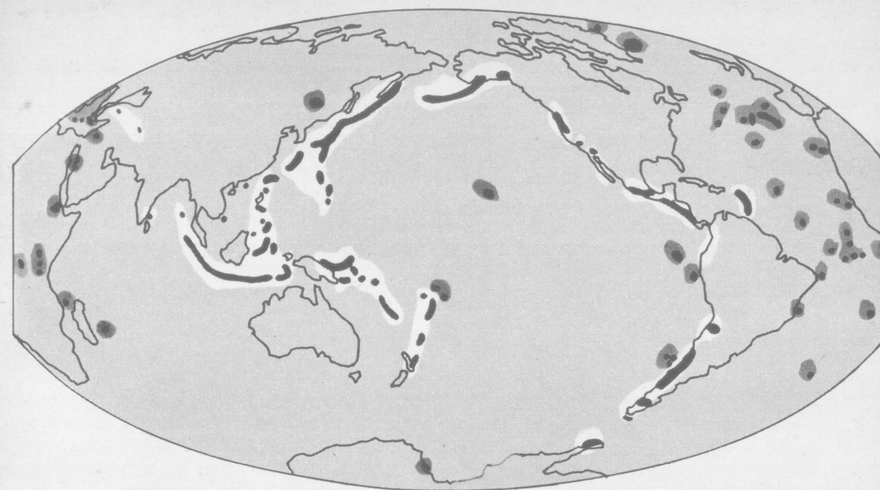
Dit was zijn grootste uitbarsting in historische tijd. De ramp begon 11 september om 8 uur met het uitstoten van donkere aswolken. Twee uur later werden de bewoners van het eiland opgeschrikt door twee hevige ontploffingen, waarvan de donder tot op 60 km afstand gehoord werd. De eruptiewolk bereikte een hoogte van 2.5 km. 30 ton zware steenblokken werden 3 km ver geslingerd, waardoor verscheidene huizen in Ginostra vernield werden. Kort voor de explosie was het hele eiland 1 m gestegen. Toen het terug-

139 · Nachtelijke uitbarsting van de Stromboli.

zakte, werd de kust door een vloedgolf van 2 m overstroomd.
De explosies hadden stukken van de oude kraterprop meegesleurd. De overblijfsels daarvan hoopten zich als gloeiende slakken op de berghellingen op. Toen ze begonnen af te glijden, werden ze stukgewreven en kwamen er gassen vrij. Daardoor vormde zich een gloedwolk van as, stenen en hete gassen. Zoals de gloedwolk van de Mont-Pelée op het eiland Martinique, die in 1902 de stad St. Pierre verbrandde en verwoestte en in een paar minuten 40.000 mensen doodde, joeg ook de gloedlawine van de Stromboli dalwaarts. Met een snelheid van 20 m/sec veegde hij door een nauwe kloof de zee in. Doordat er geen bewoonde plaats op zijn weg lag, kwamen er maar vier mensen om het leven. De kloof waar de gloeiende massa doorheen ging, werd bekend als het ‹vuurkanaal›.
Ook in 1958 rolden er bij een hevige uitbarsting lavastromen door hetzelfde kanaal in de Tyrrheense Zee.

Vulkanische uitbarstingen in de Middellandse Zee. In een chronologische lijst van de grote uitbarstingen in historische tijd staan meteen aan het begin twee catastrofen in het Middellandse Zeegebied. Afb. 113 laat boorkernen zien uit de bodem van die zee, die twee ashorizonnen uit de jaren 1800—1200 v. Chr. tonen. In die tijden explodeerde de Santorino, hij vernietigde de Minoïsche beschaving op Kreta en veroorzaakte waarschijnlijk de Egyptische duisternis met al zijn plagen. Ontzettende vloedgolven braken Griekenland, Klein-Azië, Egypte en Lybië binnen. De Monte Somma, later Vesuvius genoemd, verhief zich al in het Tertiair. Toen de Middellandse Zee door inzakking van de aardkorst gevormd werd, welde in de breukgebieden uit reten en spleten de gloeiende massa op. 70.000 jaar voordat de geschiedenis van de mens begon welfde de Monte Somma zich onder voortdurende uitbarstingen langzaam hoger tot 2 km toe. Toen in het Egeïsche de Santorino explodeerde, was de krater van de M. Somma al verstopt, en bedekten dichte bossen de oeroude vulkaan. Maar in 1200 v. Chr. ontwaakte hij. De enorme uitbarsting wierp reusachtige hoeveelheden as, die zelfs grote delen van de Egeïsche zeebodem bedekten, uit. Daarna bleef de vulkaan weer 1.300 jaar rustig, tot 79 n. Chr. Toen explodeerde hij opnieuw en verwoestte Pompeji, Herculaneum en Stabiae.
Kort te voren, in 45 n. Chr., was ook de Santorino na een slaap van 1600 jaar ontwaakt, daarna sliep hij weer 700 jaar, werd actief in 726 en na weer 700 jaar rust in 1457. Maar van toen af volgde iedere eeuw één uitbarsting. De Vesuvius daarentegen beleefde tussen 79 en 1944 veertien grote en talloze kleine erupties.

Eruptieverschijnselen. De eruptieverschijnselen zijn moeilijk te begrijpen, de oorzaken van de vulkanische werkingen geven ons de grootste raadsels op. Sedert lang uitgedoofde vulkanen worden actief, andere zijn nooit in rust. Een vulkaan wordt gevoed «door afzonderlijke, diepliggende magmahaarden, over het ontstaan, de vorm en de warmtehuishouding waarvan nog weinig bekend is.» (R. Brinkmann)
Wij kennen het direct uit het binnenste van de aarde komende magma



niet. Het is niet observeerbaar. Als magma naar buiten komt, wordt het lava, die fundamenteel anders moet zijn dan het magma. Lava aan de oppervlakte heeft al lang de gassen die het oorspronkelijk bevatte, losgelaten.
Vulkanen hebben dus onderaardse magmakamers, van waaruit ze gevoed worden. Maar die kamers hebben weer eigen voorraadkamers, die onder de aardkorst in de aardmantel liggen, minstens 60 km diep. Met grote stelligheid kan men aannemen dat die primaire voorraden met elkaar samenhangen. Aardbevingsgebieden en vulkaangebieden zijn niet van elkaar te scheiden.

140 · Belangrijkste vulkaangebieden op aarde. 62% van alle werkende vulkanen liggen om de Grote Oceaan.

De meeste vulkanen vindt men waar plooiingsgebergten langs de kusten van vastelanden liggen. Ook de splijtingen van de aardkorst zijn met vulkanen bezet. Daar die spleten tot een diepte van verscheidene honderden km reiken en met lava gevuld zijn, is het verband tussen vulkanische werking (en van aardbevingshaarden) en de door de splijting verzwakte zones begrijpelijk. Aan de randgebieden van jong plooiingsgebergte, onder inzinkingen en lineamenten zijn tectonische bewegingen duidelijk en heftig; zij zijn bronnen van warmte en wijzigen de drukverdeling in het binnenste van de aarde. Het magma reageert daarop met stromingen die voorwaarde voor vulkanische werking zijn.

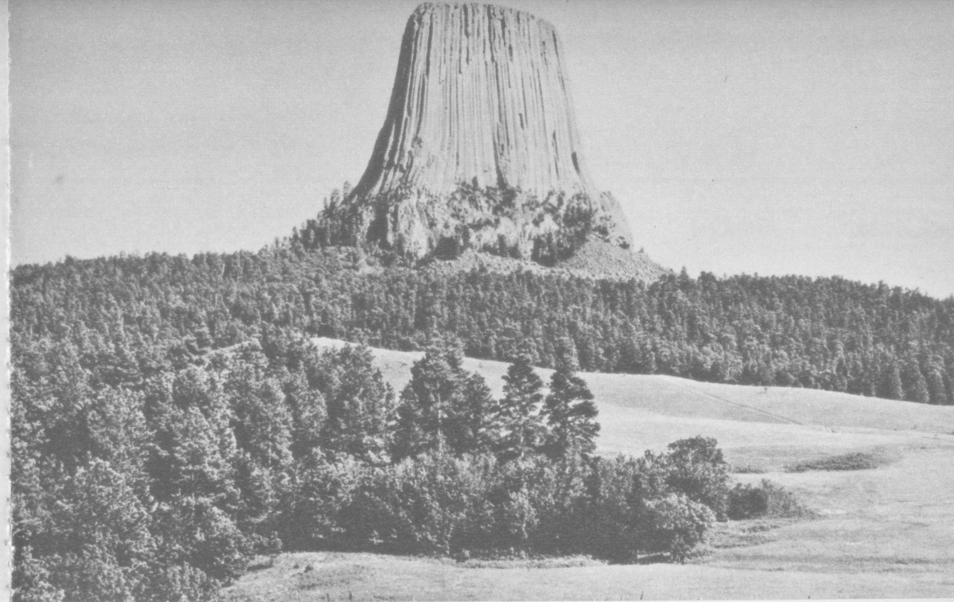


141 · Luchtfoto van uitgedoofde tertiaire vulkanen in het landschap Auvergne in Midden-Frankrijk. Op de voorgrond de 1.465 m hoge Puy-de-Dôme; op de achtergrond de Nid-de-la-Poule en de Puy-Pariou. Het kristallijne plateaulandschap draagt op een lengte van 30 km een keten van 60 uitgedoofde vulkanen.
Het Tertiair was een periode van gebergtevorming. Toen werden de Pyreneeën, Alpen, Karpathen, Apenijnen, Kaukasus en het hooggebergte van Centraal-Azië omhoog geplooid. Dit bracht een verlevendiging van het vulkanisme mee.

142 · Ontwikkeling van de M. Somma, tegenwoordig Vesuvius.
1 Wijde topkrater na de laatste prehistorische uitbarsting.
2 Centrale kegel na de volgende actieve periode.
3 8ste eeuw v. Chr.: centrale kegel van 3 m hoog.
4 Vervlakking van de krater door instorting. De berg schijnt slechts één top te hebben.
5 Na de uitbarsting van 79 n. Chr. had de vulkaan een wijde topcaldera.
6 Sedert dien ontstond in deze caldera de Vesuvius, waardoor de vulkaan twee toppen lijkt te hebben. ▷

Vulkanen uit historische tijd. De geboorte van een nieuwe vulkaan hebben maar weinig mensen gadegeslagen. Er is een ooggetuigenverslag bekend van het ontstaan in 1538 van de M. Nuovo op de Phlegreïsche velden in de buurt van de Vesuvius — een maanlandschap met 40 nu nog werkende, lage kraters, die de hele laagvlakte van de Volscerbergen tot aan de gebergten in het Oosten met lava, bommen en slakken bedekt hebben.
Ook toen de vulkaan Izalco in San Salvador zich in 1770 uit vlakke bodem verhief waren mensen daar getuigen van.
In de vlakte Jorullo in de Mexicaanse staat Michoacan waren in juni 1759 arbeiders guyavavruchten aan het verzamelen. Toen ze naar de hacienda terugkeerden, bemerkte men op hun strohoeden vulkanische as. Aan de voet van de bazaltheuvel Cuiche waren voor hun ogen spleten ontstaan, waaruit as werd opgeworpen.
18 november 1909 beleefde een boer op Teneriffe met zijn zoon de geboorte van de vulkaan Chinyoro. Onder hun voeten hoorden ze bruisende geluiden; plotseling barstte de grond open. Zwarte en rode aardklompen, stenen en zand vlogen 75 m de lucht in, de grond was zo heet dat men hem niet kon aanraken.
Tegelijk zagen honderden Indio's weer op de Jorullovlakte in Mexico vurige opzwellingen van de grond. Uit de ‹smeltoventjes› of hornito's ontstond de 1.300 m hoge vulkaan Jorullo.
20 februari 1943 ploegde de Indio Dionisio Pulido 3 km van zijn dorp Paricutín af, in de Mexicaanse staat Michoacan, zijn maisveld. Daar er een spleet ontstaan was aan de rand van de akker, probeerde hij die met een steen te vullen. Maar op hetzelfde ogenblik stegen er dampen uit de akkergrond op, de spleet werd breder en spuwde zwarte rook uit. Binnen een uur was de aardspleet kilometers lang. De volgende dag stond er een 10 m hoge slakkenkegel, in vier dagen werd die 40 m hoog en na een week was hij een 100 m hoge vulkaan geworden die gloeiend zand en slijkstromen spuwde. Zijn gaswolken bereikten als wervelende wolkenmassa's een hoogte van 7 km. Een jaar later was hij 350 m, 7 jaar later 490 m hoog. De vulkaan, Paricutín geheten, ligt 170 km van de Grote Oceaan aan de zuidkant van het Mexicaanse hoogland, precies op de Mexicaanse vulkaanlinie. Amerikaanse geologen hadden de geboorte van zo'n vulkaan al tientallen jaren te voren voorspeld. De Paricutín maakte 800 km² land onbewoonbaar. De as viel op de huizen van Mexico-City. De stad Uruapam werd verduisterd. De lava stroomde 10 km over de vruchtbare velden en vulde dalen van 100 m diepte. In 1952 hield de activiteit op, de geologen verklaarden de Paricutín uitgedoofd.

Uitgedoofde vulkanen. Het is zeer twijfelachtig of men een uitgedoofde of fossiele vulkaan werkelijk doodverklaren kan. De rustpozen van een vulkaan kunnen 10.000 jaar duren — dan volgt er weer een uitbarsting.
In 1961 moesten de bewoners van Tristan da Cunha in het Zuiden van de Atlantische Oceaan hun eiland verlaten, daar de vulkaan op verrassende wijze actief werd. Men had geloofd dat hij sedert duizenden jaren



143 · Gestolde vulling van een vulkaanpijp. Devils Tower in Wyoming, USA. Door sloping uitgeprepareerd.

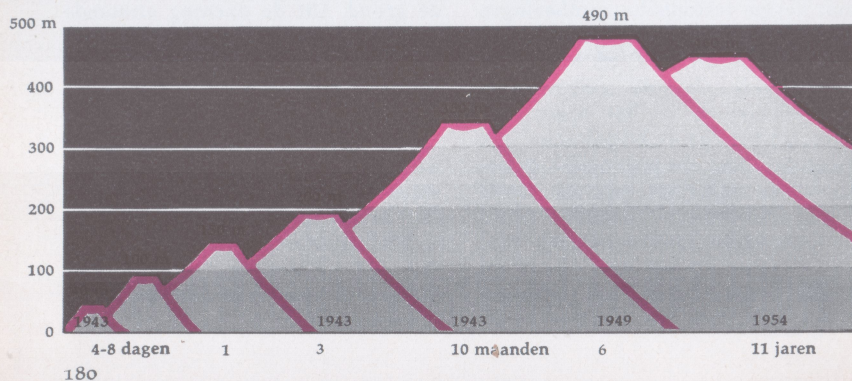
uitgedoofd was en zich nooit meer zou roeren.
In Noord-Tibet hebben Chinese soldaten gadegeslagen hoe al lang uitgedoofde vulkanen weer in actie kwamen. De nieuwe werkzaamheid van de vulkaanketen ging gepaard met hevige tectonische aardbevingen en verschuiving van bergen in Tibet en in de Kwen-Lun. E. M. Mursajew constateerde: bij de vulkanen in Noord-Tibet en in het Kwen-Lungebergte hebben de lavastromen zich aangepast aan de tectonische lijnen, zoals de vulkanen van de Grote Sjingan tot Binnen-Mongolië volgens de tectonische lijnen geplaatst zijn. 222 vulkanen vormen daar een 10 km lange keten. Langs die bewogen zones, vooral in Noord-Tibet en de Kwen-Lun, worden de vulkanen met tussenpozen altijd weer actief.

Op de Puy-de-Dôme in Auvergne, die in 1955/56 volkomen bedekt was met korstsneeuw, ontdekte men bij $-27°$ C. een rond sneeuwvrij gat in de grond. Uit de opening stroomde lucht van $+3°$ C. Daar er in die streek zwaveldampen en warmwaterbronnen voorkomen, moest men aannemen dat een opeenhoping van warmte onder de oude vulkanen van Auvergne ook die warme luchtstroom veroorzaakte. De vraag die zich opdoet is nu: zijn de tertiaire vulkanen in Midden-Frankrijk werkelijk meer dan een miljoen jaar geleden uitgedoofd of zouden ze nogeens actief kunnen worden?



△ **144** · Luchtfoto van de in 1943 ontstane vulkaan Paricutín, 280 km ten W. van Mexico-City en 170 km van de Grote Oceaan. Aan de rand van de vulkaan verheft zich een ‹stofduiveltje›, een tornado in 't klein.

145 · Het aangroeien van de Paricutín van 1943 tot 1954. ▽



146 · De Paricutín groeide op op een hem a. h. w. voorgeschreven plaats in het vlakke ‹Adelaarsdal›. De geologen hadden zijn verschijning op de ‹vulkanische lijn› van Mexico voorspeld.
‹El Monstruo› (het monster) op het maisveld van de boer Pulido schonk de geologen en vulcanologen uit de hele wereld gelegenheid, de wording van een vulkaan van het ogenblik van zijn geboorte af gade te slaan en te bestuderen. In 1944 werd het ‹US Committee for the Study of Paricutín› gesticht, dat alle gegevens over de berg bijeenbracht.

Als ooggetuige verhaalde Dr. Foshag: «Naar mijn mening is de Paricutín het meest grootse schouwspel dat de aarde kan bieden, even indrukwekkend als de Vesuvius ooit geweest kan zijn, en in zijn heftige fasen nog grootser. Gij moest de Paricutín zien als er in de hoog in de krater gelegen lava gasbellen barsten. Zo'n explosie breidt een paraplu van vuur boven de berg uit. In juni j. l. (1943) waren er erupties van grote schoonheid, en het omringende gebergte weerkaatste de donder veelvoudig. Huizen en grond trilden. De cascade leek op de Niagara en de mensen kwamen van mijlen ver om het schouwspel te zien. 1 augustus ontplooide het vuurwerk een zodanige grootsheid dat de toeschouwers begonnen te applaudisseren. Stel u voor: mensen die een vulkaan door applaus bijval betuigen!»

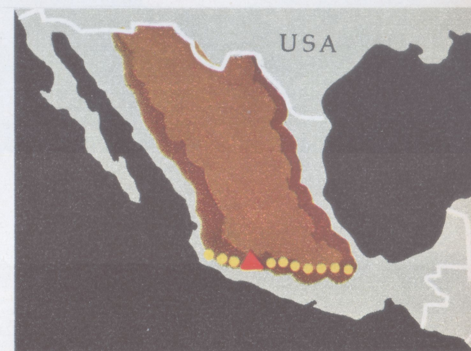
T. Ifor Rees gaf zijn indrukken aldus weer: «Overdag stijgen de dichte rookmassa's in rollende, wervelende, draaiende wolken tot een hoogte van meer dan 900 m op, waar ze op luchtstromingen stoten die ze naar het Noorden en Oosten meevoeren. Die massale proppen die uit de krater opstijgen hebben alle nuances van wit tot zwart en alle schakeringen van grijs. Soms is er in de torenhoge rookzuil een electrische ontlading waarop een donderslag volgt. 's Nachts, als de rookzuil niet zichtbaar is, ziet de vulkaan er uit als een reusachtige hoogoven, waaruit ontzaglijke hoeveelheden witgloeiende materie omhoog geslingerd worden en dan als een lichtgevende bui op de hellingen neerregenen, waardoor die met een glimmende, onophoudelijk veranderende vuurmantel bedekt zijn.»

F. H. Pough van het American Museum of Natural History beschreef het neerstromen van het gloeiende gesteente boven de kegel «als het ononderbroken geklingel van de glijdende, vallende stenen, begeleid door een luid geknetter als van een vlammend vuur».
Over het toekomstige lot van de Paricutín zei hij: «Wij kunnen de voorspelling wagen, dat de Paricutín nog maar weinig hoger zal worden en zijn lava niet veel meer zal uitbreiden. Het verwoeste gebied is nu duidelijk begrensd en zal niet groter worden.»

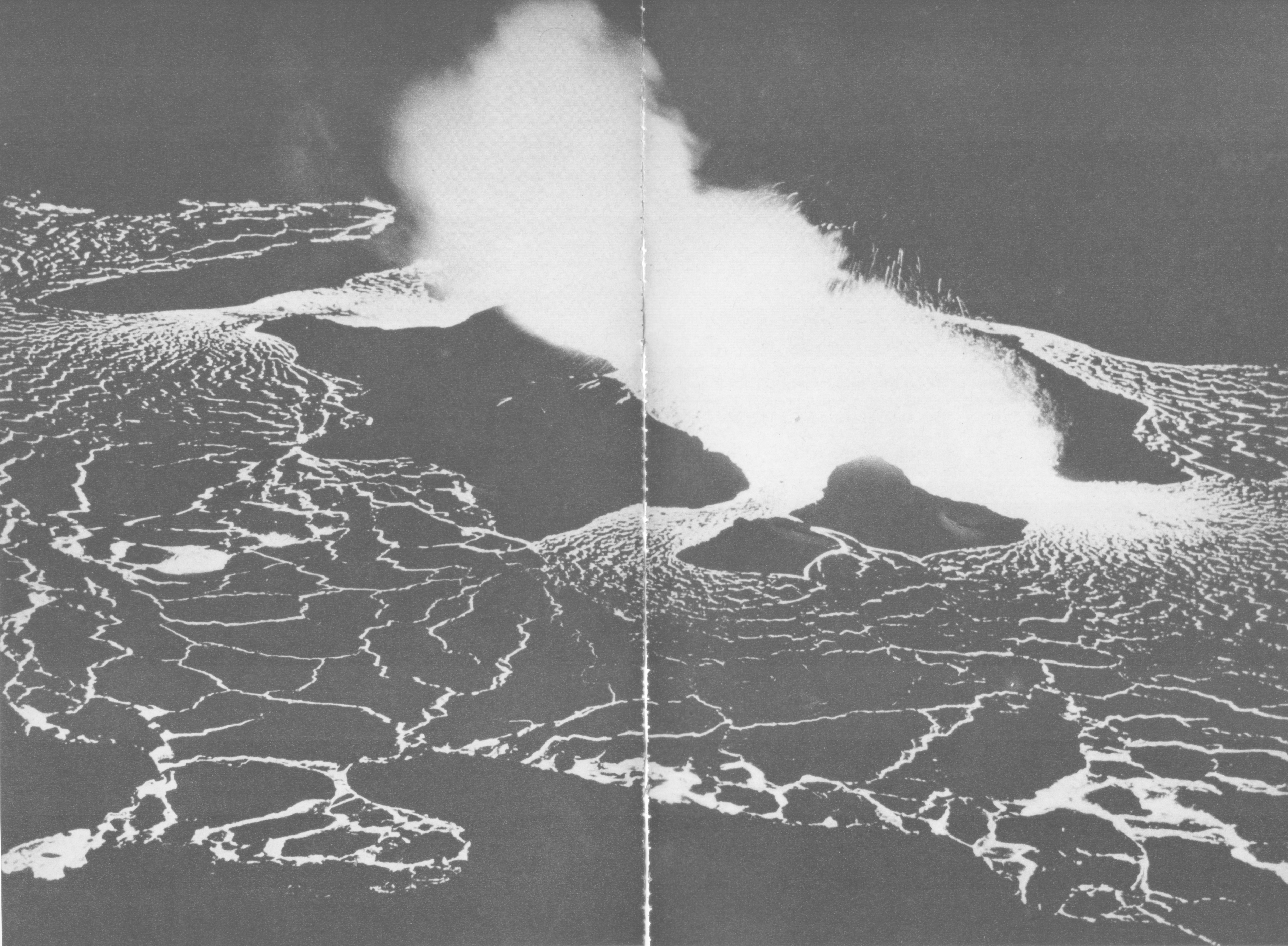
Mexicaans hoogland

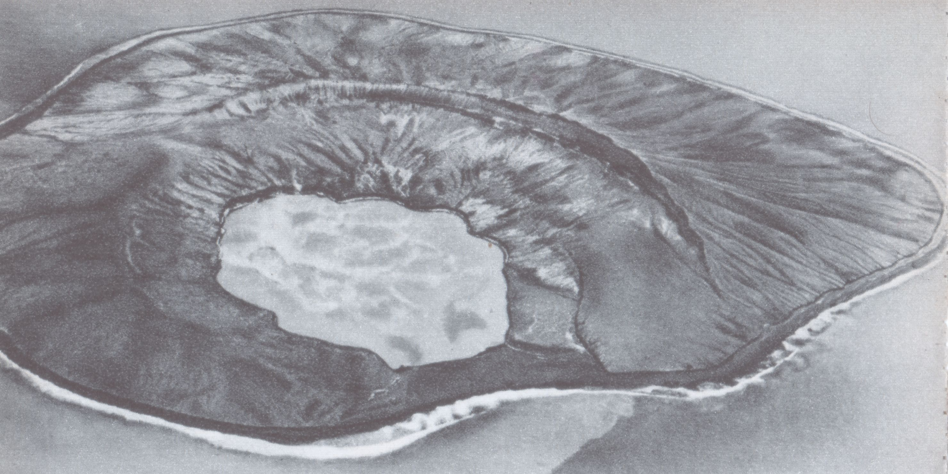
Vulkanische as

Paricutín



147 · Lavameer van de Kilauea op het eiland Hawaii. ▷





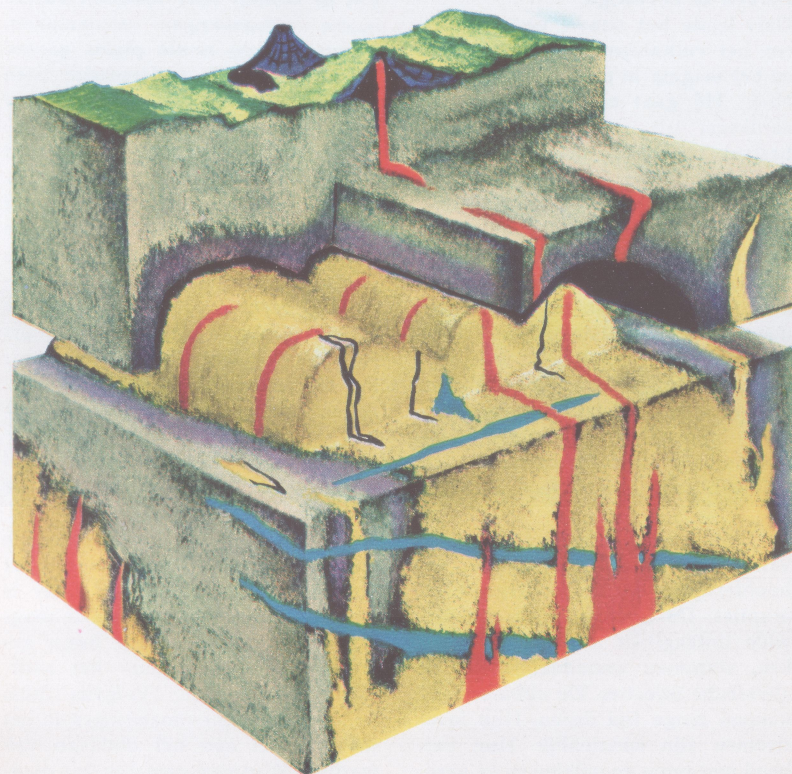
148 · Luchtfoto van het vulkaaneiland Krakatau in Straat Soenda tussen Soematra en Java. Bij de uitbarsting van 1883 werd het midden van het eiland daar, waar nu het meer ligt, opgeblazen.



149 · De eilandengroep Santorino in de Egeïsche Zee, toneel van geweldige uitbarstingen. 1 Thirasia. 2 Thira. 3 Neokameni. 4 Paleokameni. 5 Aspronasi. — In het midden van de caldera liggen de door uitbarstingen nieuw gevormde eilanden Paleokameni en Neokameni. De N. W. winden stuwen de zeegang de nu door de zee gevulde kratermond van de Santorino in.

150 · Blokdiagram van een plutoon (batholiet) met de gesteenten van het aardoppervlak en de mantel, die hem omgeven.
De twee namen zijn gevormd naar Pluto, de god van de onderwereld, naar bathos: diepte, en lithos: steen. Plutonen zijn dieptegesteenteklompen, magmamassa's — ze kunnen reusachtige afmetingen hebben — die niet aan de aardoppervlakte gekomen zijn maar op diepten van minstens 1 km, meestal van 5—10 km, in de aardkorst langzaam gestold zijn.

Batholieten noemt men zulke grote magmamassieven als ze uit magma bestaan dat loodrecht uit de diepte is opgestegen. De batholieten rusten op een onbekende onderlaag; hun onderste grensvlakken wijken uiteen. Het lijkt er op, dat ze zich in de ‹eeuwige diepte› voortzetten, dus tot op grote diepten in het binnenste van de aarde.
Bij het binnendringen van de magmamassa in de stollingsruimte kunnen naastliggende gesteenten in de plutoon opgenomen worden en daarbij smelten (contactmetamorfose). Als een plutoon in de bovenste lagenstructuur dringt, dan ontstaat er een regelmatige breuklaag, waarin vloeibaar restmagma tot ganggesteente kan stollen.
In de mantel (in de tekening boven) is een uitloper van het magma als gang te herkennen, in de batholiet de gesteente- en ertsgangen (blauw en rood).
Omhuld door hun mantel stollen de magmamassa's als batholieten wel diep onder de oppervlakte, maar door verwering van de bedekkende steenlaag worden ze blootgelegd.



Daly's vulkanentheorie. De Amerikaanse vulcanoloog DALY publiceerde in 1914 een boek onder de titel ‹*Igneous rocks and their origin*› (‹Stollingsgesteente en zijn ontstaan›).

Zijn theorieën over het vulkanisme zijn tegenwoordig nog van de grootste actualiteit. De jongste onderzoekingen hebben weliswaar nieuw inzicht in de toestanden van aardkorst, aardmantel en aardkern opgeleverd, en nieuwe kennis van het vulkanisme, zodat Daly's theorieën kunnen worden aangevuld — maar in grote lijnen werden ze bevestigd.
Daly legde het nauwe verband tussen het vulkanisme in de aardkorst en het magma in de diepte der aarde bloot. Hij gaat er van uit, dat de aardkorst uit concentrische bollen bestaat. Onder de losse sedimentlagen liggen de twee schillen, van graniet en bazalt. Van de bazaltschil uit wordt magma in het graniet van de buitenste aardkorst geperst. Door die ‹abyssische injecties› dringt er bazaltisch magma in zure gesteenten door. Daarbij ontstaan door differentiatie en assimilatie — d. w. z. door ontmenging van oermagma tot magma's met verschillend chemisme, resp. door bijmenging van vreemd gesteente in gesmolten toestand — lava's van zeer uiteenlopend karakter.

Daly onderscheidt twee kategorieën van vulkanische uitbarstingen: de hoofderuptie en de ondergeschikte erupties. De hoofderupties, die dikwijls ontzaglijke afmetingen bereiken, stammen onmiddellijk uit de abyssische injecties. De uitbarstingen kunnen lange tijd duren. Hun lavastromen zijn aanzienlijk. Hun verband met reten en spleten in de aardkorst, die tot grote diepten reiken, is volkomen duidelijk.
Hierbij knopen nu de resultaten van recent onderzoek aan, die de theorie van Daly nog uitbreiden: Daly's ‹abyssische injecties› hebben waarschijnlijk niet plaats in de bazaltische laag van de aardkorst, maar nog veel dieper: in de aardmantel. Daly kon ook nog niet weten, dat de splijtingen van de aardbol honderden en honderden km in de diepte reiken.
De uitbarstingen van de tweede rang volgen volgens Daly de tectonische lijnen niet.
Tot de stoffen wier krachten vulkanische uitbarstingen veroorzaken, behoren in de eerste plaats gassen en dampen. Daly onderscheidt twee soorten vluchtige stoffen: de ene groep gassen en dampen stamt onmiddellijk uit het magma, en wordt a. h. w. uit de magmamassa geboren. Deze komen ‹juveniel› (= jeugdig) uit de hete dieptelagen. In bepaalde omstandigheden kunnen zulke gassen en dampen in magmatisch, reeds gestold gesteente opgesloten zitten. De andere groep vluchtige stoffen is ‹vados› (= ondiep): zij ontstaan door het binnendringen van grondwater, water uit meren en rivieren en ook wel zeeën. Gassen en dampen van de vadose groep kunnen eveneens al opgesloten zitten, en wel sedert de afzetting van de sedimenten.
Iedere theorie over het vulkanisme staat of valt met de vraag: waar komt de warmte vandaan? Daly is van mening, dat niet alleen de magmatische diepteinjecties in hoger gesteente de warmte naar het aardoppervlak voeren. Volgens hem hebben chemische omzettingen in het magma deel aan het ontstaan van warmte. Wanneer namelijk het magma opstijgt, komt het in gebieden van verminderde druk: behalve de magmakamers in de diepte heeft elke vulkaan zijn eigen magmanest, dat veel hoger ligt dan de primaire magmavoorraden in de diepte. In die onder geringer druk staande magmanesten, dichter bij de oppervlakte, maken de gassen zich vrij en vergroten de oorspronkelijke oerhitte van het magma. De gassen dringen in het nog vloeibare magma door en dragen zo de dieptewarmte over naar gebieden dicht bij het oppervlak der aarde.

Indeling van de vulkanen in typen. In een denkmodel als dat van Daly komen alleen de elemantaire grondslagen tot hun recht, de oerkrachten waardoor de veelvoudige dynamische processen aan de gang gebracht worden. Een kort overzicht van de vulkaantypen stelt de veelvoudigheid van het vulkanisme in het licht.

Maren zijn *explosievulkanen* met kringvormige uitdiepingen onder het niveau van de krater, vaak omgeven door een aswal. Ze ontstaan door hevige gasontploffingen. Het zijn ‹voorlopers of achterblijvers van groot vulkanisch gebeuren›. (H. Cloos)
Tafelvulkanen verbreiden hun lava over grote vlakten. Het ‹columbische plateau› in het Westen van de V. St. en b. v. de geweldige bazaltuitstromingen op het hoogland van Dekan in India zijn door zulke vlakteërupties geschapen.

De Kilauea op Hawaii vertegenwoordigt het type van een *schildvulkaan:* een ketelvormige krater, gevuld met een meer van gloeiende vloeibare bazaltlava.

In *zwelkoepels* wordt kegelvormig lavastolsel omhoog gedrukt.
Bij *stratovulkanen* wisselen explosies af met het rustige uitstromen van lava. De Etna en de Vesuvius zijn zulke ‹gemengde vulkanen›. 90% van alle werkende vulkanen zijn stratovulkanen, die nog allerlei onderlinge verschillen vertonen. De Vesuvius heeft in zijn lange leven allerlei gedaanten doorlopen: de vulkaankegel is opgerezen uit een wijde topkrater, verdeelde zich en vormde schijnbaar twee toppen. Tenslotte vormde er zich een reusachtige ketelvormige uitdieping, een caldera. Of zulke holten door reusachtige explosies ontstaan of door het instorten van de top van een kegel, is nog steeds een strijdvraag. Daly erkent beide mogelijkheden, maar wil onder ‹caldera› alleen een door explosie gevormde ruimte verstaan.
Aan de flanken van grote vulkanen ontstaan kleine kegels: *parasietvulkanen.*

F. A. Perret over de uitbarsting van de Vesuvius in 1906: «Het verheffendst was de oneindig hoge waardigheid, die uit iedere uiting van die onmetelijke energieontlading sprak. De majesteit van die gebeurtenis, de volledige, totale moeiteloosheid en overweldigende kracht bij het vervullen van de gegeven taak, een verheven en grootse vervulling, dit is ten enenmale niet in woorden weer te geven. Ieder van die snelle impulsen was de bovenste top van iets dieps en machtigs en in zichzelf rustends dat hem veroorzaakte, en de rustige modulatie van de rythmische knallen plaatste de eruptie in de rij dier dingen die overweldigend ernstig en groots zijn.»



XIII

AARDBEVINGEN

De aardbeving van Lissabon. De aardbeving van Lissabon in 1755 verwoestte niet alleen de ‹Koninklijk Portugese Residentie›, maar maakte ook de steden Cadiz, Jerez en Algeciras met de grond gelijk; meer dan 60.000 mensen kwamen om.

Binnen een kwartier deden de bevingsgolven de Pyreneeën, de Alpen en de Oeral trillen; ze werden in Beieren en Zwaben als zware aardschokken gevoeld. De seismische golven braken als 13 meter hoge vloedgolven de mond van de Taag binnen, ze vlogen tegen de kusten van Afrika op; ze verbraken kettingen van bakens in Rotterdam en deden de Dalelf in Zweden wassen, ze veegden als vloedgolven over de Atlantische Oceaan en deden het Canadese Ontariomeer golven.

Nog achteraf kan men de plaatsen waar aardbevingen van gelijke kracht opgetreden zijn, door lijnen verbinden: men krijgt dan ‹isoseistenkaarten› met lijnen die gelijke bevingen verbinden.

Het kerngebied van de aardbeving had zijn middelpunt (epicentrum): Lissabon. Loodrecht onder het epicentrum, 10 tot 700 km diep, ligt altijd de plaats waar de aardbeving ontstaat, de oorspronkelijke haard, het hypocentrum. De haard van de aardbeving van Lissabon lag dicht bij de stad, waar het continent naar de zeebodem toe afgebroken is.

151 · De aardbeving van Lissabon in 1755 naar een vliegend blaadje uit die tijd.

De aardbeving van San Francisco. Tijdens de Californische beving van april 1906 — hij is als ‹aardbeving van San Francisco› in de annalen van de grote natuurrampen opgetekend — werd de San Andreasbreuk in Californië opnieuw opengereten, een 900 km lang breukgebied langs de kust. De grootste vernielingen werden aangericht in de buurt van de San Andreaslijn. Van daar gingen alle schokken uit.

De ondergang van San Francisco was niet het enige gevolg van de beving. De aardschokken onder de stad waren niet eens zo heel sterk; de vernieling kwam vooral door branden. Het kustgebied en de Sierra Nevada werden evenzeer door de beving getroffen, vooral het dal tussen de benedenloop van de Sacramento en het Toelaremeer. De losse grond van de oeverlanden dreef als reusachtige waterstromen van het harde af.

Toen de resultaten van alle onderzoekingen konden worden vergeleken verkreeg men het volgende beeld van de werkelijke gedaante van de geweldige aardlitteken San Andreas: de breukspleet is veel langer dan men aangenomen had. Hij doorsnijdt de bodem van West-Noord-Amerika over een lengte van 3.000 km. De verscheidene kilometers brede, steil overeind staande spleet bestaat uit gebroken gesteente, dat de laatste honderd jaar onophoudelijk is verschoven. Aardbevingen, b. v. die van 1856, 1868 en 1906 bewijzen, dat die bewegingen met schokken gaan, maar ook zonder die buigt de voeg zich en verplaatst o. a. rivierbeddingen 1 cm per jaar. Dalen uit de IJstijd zijn 1—20 km verschoven, maar de verschuiving is al in de Middeleeuwen van de aardgeschiedenis begonnen.

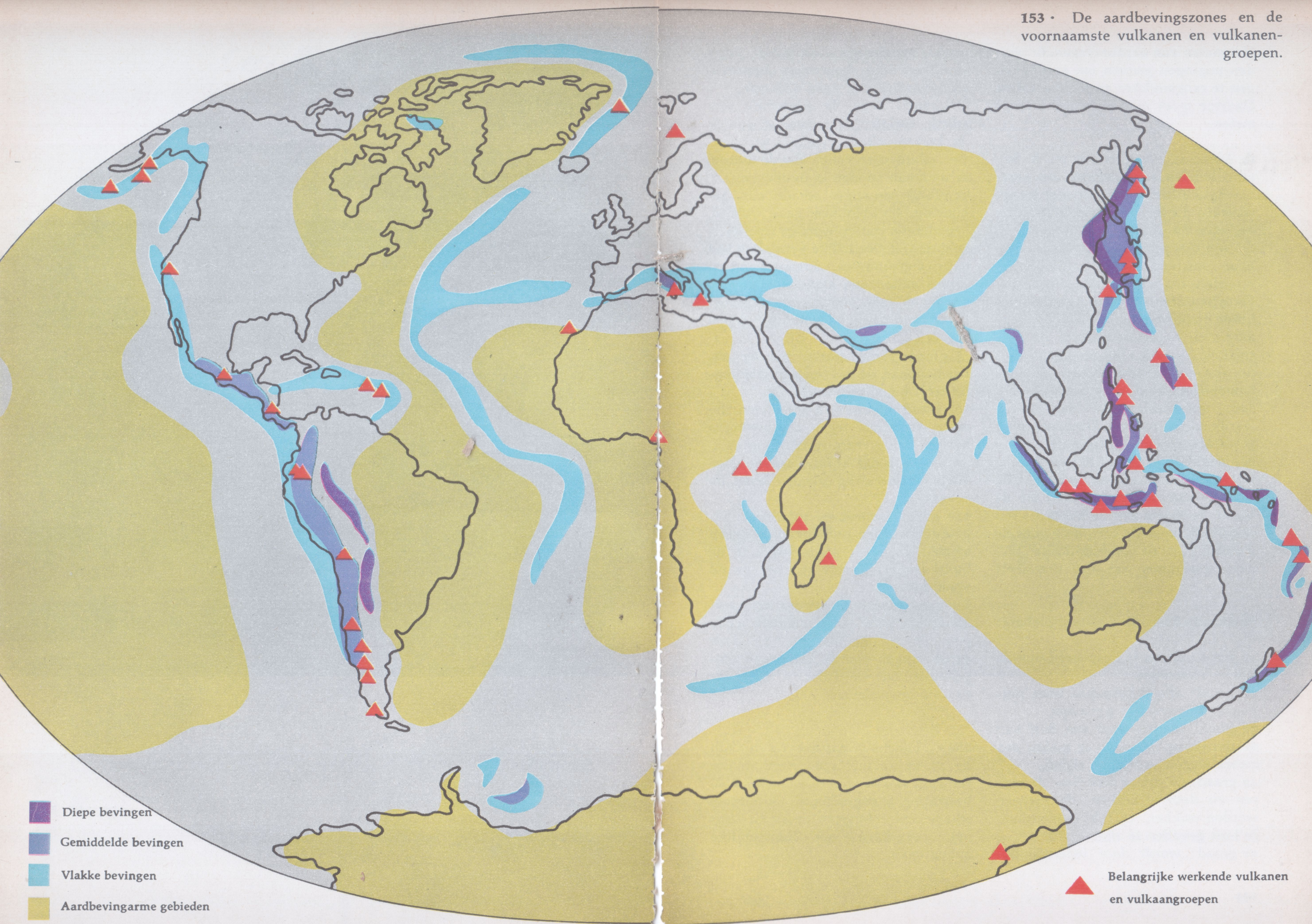
De oorzaken van aardbevingen. De haard van de aardbeving van Lissabon lag in de storingszone langs de breuklijn van het vasteland naar de Atlantische Oceaan. Hier hadden bewegingen van aardlagen plaats. «Bij verbuigingen gedraagt de aarde zich niet als een homogene plaat, maar meer als een mozaïek van platen, waarvan de blokken een zekere speelruimte bezitten.» (R. Brinkmann) De aardkorst is elastisch. Als hij buigt, vangt hij de elastische spanning op tot de grens van zijn stijfheid. Dan breekt hij en de gesteenten schieten in een nieuw evenwicht. Er komt opgeladen energie vrij: als aardbevingsgolven straalt die naar alle kanten van de haard uit.

Rotssteen pleegt te barsten, meende H. Fielding Reid, als hij aan overmatige rekking blootsstaat. De langzame verschuivingen van de aardkorst doet zich tussen de aan elkaar grenzende delen van de aardkorst een langzaam toenemende spanning ophopen. Op het moment van de breuk springt de onder zware druk staande rots terug, doordat er een elastische spanning in aanwezig was. Behalve deze tectonische bevingen zijn er nog vulkanische, die gedurende de werking van een vulkaan optreden; verder instortingsbevingen, veroorzaakt door het instorten van onderaardse holten. Deze twee soorten, die slechts in een nauw begrensd gebied optreden, vormen samen maar 10% van alle aardbevingen. 90% hangt samen met de tectonische bewegingen van de aardkorst.

152 · Luchtfoto van de San Andreasbreuk in Californië.



153 · De aardbevingszones en de voornaamste vulkanen en vulkanengroepen.

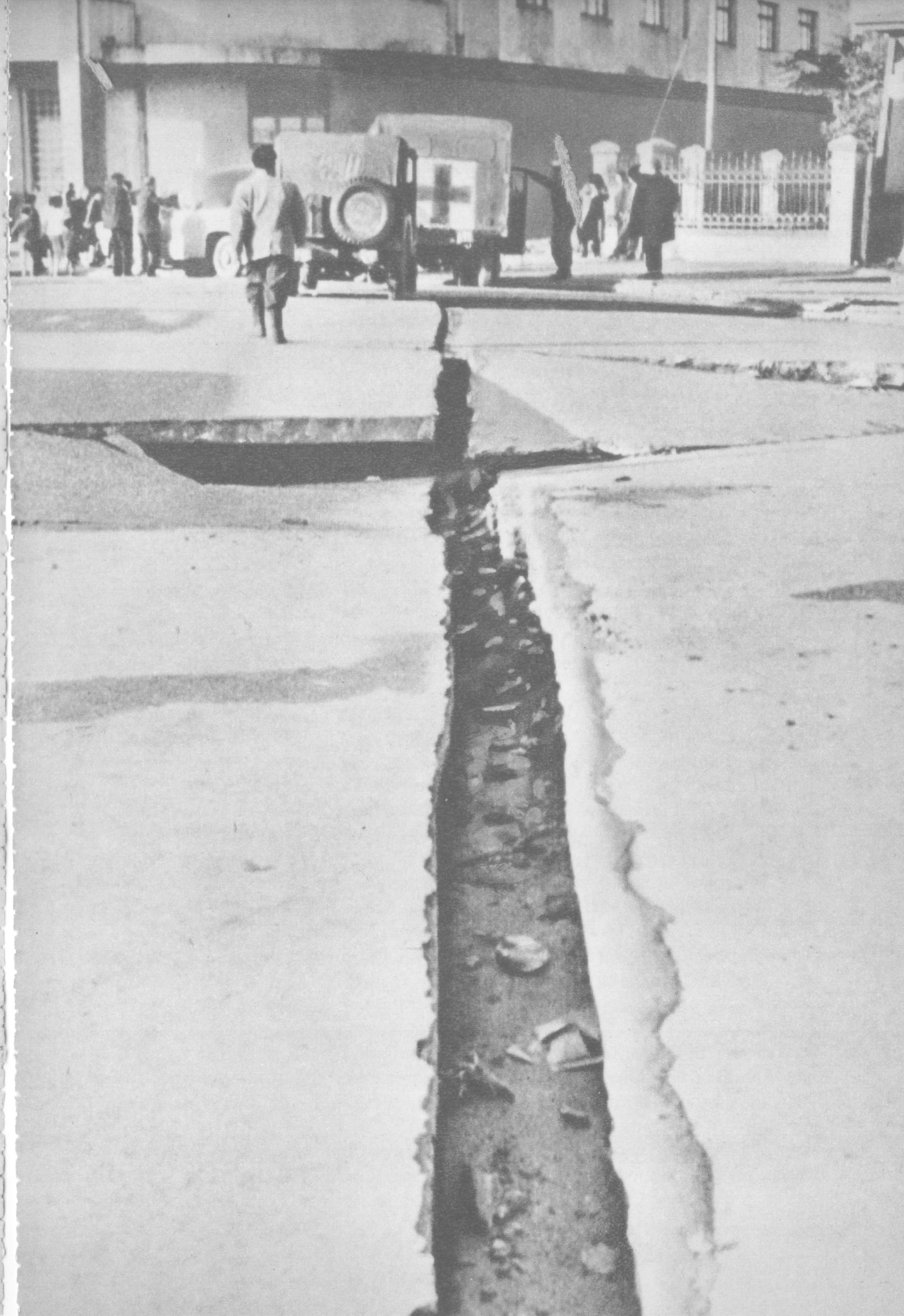


Het meten van aardbevingen. Er worden pogingen gedaan om aardbevingen te rangschikken en te vergelijken. Daartoe moet men objectief kunnen meten.

G. Mercalli, A. Cancani en A. Sieberg hebben een ranglijst van aardbevingssterkten gemaakt met twaalf waarden die de graad van de beschadigingen en vernielingen weergeven; dit zijn dus relatieve en van plaatselijke omstandigheden afhankelijke waarden. De scala is echter objectiever geworden; uit de tijd en de amplitude (trillingswijdte), die de seismografen optekenen, wordt de versnelling bepaald. «Daarentegen wordt de absolute kracht, beter: de vrijkomende energie in de bevingshaard door groottewaarden aangegeven (aardbevingsgrootte). De berekening geschiedt volgens een formule, waarin hoofdzakelijk de grootte van de uitslag van standaardseismografen, de afstand van de seismograaf tot de haard, de diepte van de haard en een empirisch bepaalde constante voor de invloed van de ondergrondse factoren opgenomen zijn.» (W. Weischet)

Schaal van Mercalli-Cancani-Sieberg:

1e graad: alleen te bespeuren met de fijnste apparaten.
2e graad: alleen bespeurd door nerveuze, fijngevoelige personen.
3e graad: slechts door een deel van de bevolking bemerkt, er schijnt een zware wagen voorbij te rijden.
4e graad: de ramen rinkelen, de muren en deuren kraken, de mensen worden wakker, er lijkt iets zwaars in huis gevallen te zijn.
5e graad: wordt door iedereen bemerkt; vensterglas versplintert, lichte wandversiering komt naar beneden, slingeruurwerken gaan stilstaan.
6e graad: door de aardschok verschrikt verlaten de mensen in paniek de huizen, zware meubels verschuiven, schilderijen vallen van de muren, er ontstaan spleten in de muren.
7e graad: ernstiger schade aan gebouwen, kerkklokken gaan luiden, bronnen en putten worden troebel.
8e graad: gedeeltelijke vernieling van baksteengebouwen; schoorstenen en torens vallen om, standbeelden verschuiven, uit ontstaande spleten komt zand of modder aan de oppervlakte.
9e graad: stenen huizen worden onbewoonbaar, de gas- en waterleidingbuizen buigen of barsten.
10e graad: ook houten gebouwen, die meer weerstand tegen aardbevingen hebben dan stenen, worden vernield, spoorrails buigt krom, aardverschuivingen, rivierwater zwalpt over de oevers.
11e graad: stenen en bakstenen gebouwen worden puinhopen, bruggen storten in. Grote aardspleten, in de buurt waarvan grote stukken grond verschuiven.
12e graad: totale catastrofe, het aardoppervlak golft. In de laatste 4.000 jaar zijn 13 miljoen mensen door aardbevingen van de 12e graad omgekomen. Die van Tokio in 1923 eiste 140.000 menselevens.



154 · Tijdens de aardbeving in Chili op 21 en 22 mei 1960 werd in het centrum van de stad Puerto Montt de bestrating opengescheurd. De meeste schade aan gebouwen ontstond door het wegglijden van kunstmatige ophogingen.

Duur en uitgebreidheid van aardbevingen. De duur van een aardbeving is niet te voorspellen. Caracas in Venezuela werd in 1812 door drie aardschokken vernietigd, de langste daarvan duurde maar 4 seconden. De aardschokken in Lissabon (1755) duurden samen 5 minuten, over een kwartier verdeeld. In Canada duurde in 1663 een reeks bevingen 3 maanden. 4 jaar lang duurde de aardbeving in Calabrië die in 1783 begon. Op de aardbeving in de Japanse provincies Mino en Ovari in 1891 volgden 3.482 nabevingen gedurende 9 jaar.

Van november 1955 tot februari 1956 werden 20 grote aardbevingen in de Pacificgordel geregistreerd. Ze hingen oorzakelijk samen en liepen met de klok mee om de Oceaan heen: ze begonnen in de Andes, zetten zich voort op de Tonga-eilanden, sprongen over naar het schiereiland van Alaska en zetten zich weer voort in de Andes.

Later volgden nieuwe bevingen, hoewel niet in dezelfde baan: Alaska liep vrij maar Japan werd getroffen.

De haard van deze bevingen lag dikwijls zeer diep. Het hypocentrum van de elfde aardbeving bij Nieuw-Guinea lag 500—700 km diep. Tussen de Amerikaanse kustketens, de Zuidzeeëilanden en Alaska kon een gemeenschappelijke oorsprongshaard voor alle 20 aardbevingen bepaald worden.

Tectonische bevingen zijn het gevolg van rijzing en verzakking van harde delen van de aardkorst. De bewegingen kunnen daarbij tweeërlei gedaante aannemen: of ze drukken, persen en plooien de stukken aardkorst, of ze rekken ze en vergroten de oppervlakken ervan.

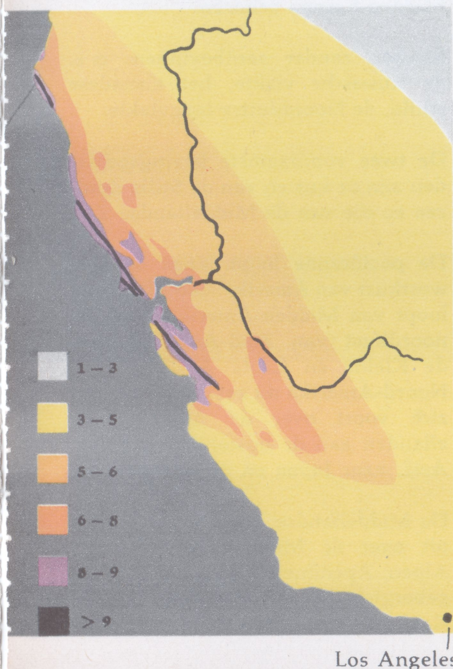
Aardbevingscentra en de verplaatsing daarvan. Aardbevingslijnen, vulkanisme en het ontstaan van warme bronnen vallen in de regel samen.

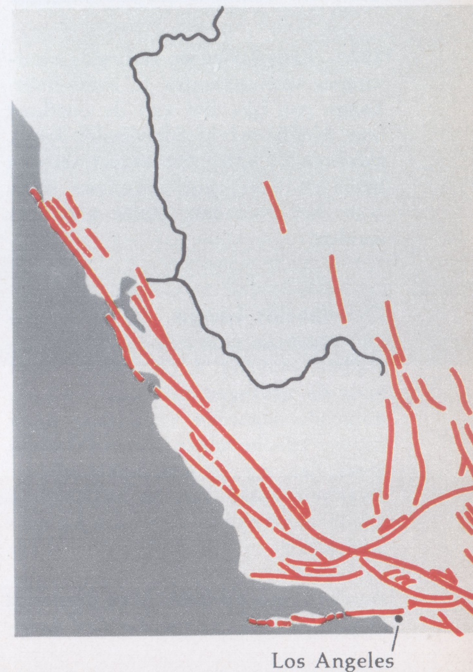
Een indrukwekkend voorbeeld daarvan is de z. g. ‹Weense thermaallijn›, die van Wenen over Wiener Neustadt en de Semmering naar het dal van de Mur loopt. Een tweede lijn takt af bij Wiener Neustadt en reikt tot Bohemen. Waar ze elkaar snijden zijn de bronnen het warmst en de aardbevingen het sterkst.
Loodrecht boven een aardbevingshaard, op het aardoppervlak, is de beving het sterkst. Dit epicentrum kan gaan zwerven.
Kettner beschrijft aldus de dramatische verplaatsing van een epicentrum in de Alpen: «3 december 1924 begon een aardbeving in Kroatië. Het epicentrum lag even ten W. van Agram. 11 december in de vroegte verschoof de aardbeving 350 km naar het NW. tot in de Hohe Tauern, 's middags werd hij in Zuid-Duitsland opgetekend, 's avonds in Triëst en kort daarna in de Salzburgse Alpen. 12 december in de vroegte trof hij het zuidelijke gedeelte van de Kalkalpen, 's middags het gebied ten O. van het Zwarte Woud. 29 december 1924 werden sterke schokken in de streek van de Kaiserstuhl bij Freiburg im Breisgau opgetekend. De reeks eindigde op 8 januari 1925 in de Zwitserse Jura.»
Dit zwerven van een epicentrum is niet eens zo erg zeldzaam. Het is ook bekend aan de westkust van Noord-Amerika en in Italië.

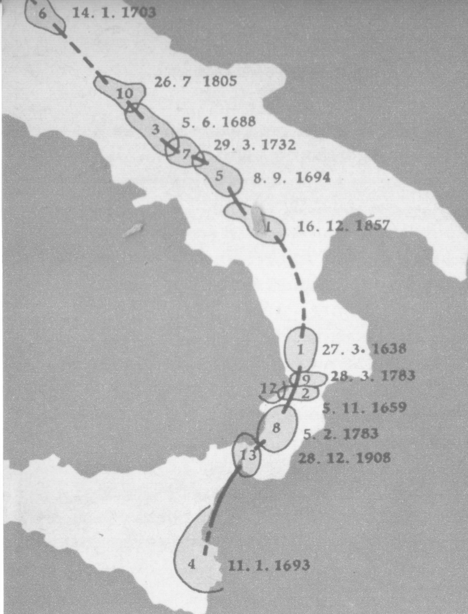
Frequentie van de aardbevingen. Bij een beschouwing van de verdeling en verbreiding van de aardbevingen in tijd en ruimte moet rekening gehouden worden met het totale aantal en met de frequentie in bepaalde gebieden. Men schat het aantal tectonische bevingen op een miljoen per jaar, met inbegrip van de onmerkbare die alleen met behulp van microseismische instrumenten opgetekend kunnen worden.
Volgens B. Gutenberg zijn tussen 1904 en 1946 jaarlijks gemiddeld 2 sterke, grote aardbevingen en 17 zwakkere opgetreden die op de hele aarde geregistreerd werden, en 130 zwakkere die tot op 10.000 km van hun haard geregistreerd werden.

155/156 · Seismotectonische kaarten van het gebied om de San Andreasbreuk in Californië, een lijn van trekking en rekking. Deze dislocatie vormt tegelijk een aardbevingslijn.

Op de kaart van *afb. 156 (rechts)* zijn behalve de San Andreasbreuklijn ook de aardbevingslijnen ingetekend waar schokken voorgekomen zijn tijdens de talrijke aardbevingen in Californië sedert 1857. De kaart van *afb. 155 (links)* toont de lijnen van gelijke bevingsintensiteit, die bij de aardbeving van 1906 vastgesteld werden. De cijfers naast de kastjes geven de sterktegraad van de aardbevingen aan volgens de schaal van Mercalli — Cancani — Sieberg *(verg. blz. 194)*.







157 · Langdurige en verbreide zwervingen van epicentra in Zuid-Italië. Langs een lijn, die van de oostkust van Sicilië tot Midden-Italië loopt, zwerven de epicentra sedert eeuwen heen en weer, met sprongen soms naar het Noorden, soms naar het Zuiden.

Ontwikkelde energie. Bij aardbevingen ontstaan energieën van onvoorstelbare omvang. B. Gutenberg heeft voor de bevingen uit 1904—1946 de volgende waarden berekend: de 2 grote aardbevingen ontwikkelden meer dan 2,5 biljoen KWU, de 17 zwakkere meer dan 90 miljard; de 130 zwakste samen meer dan 1,4 miljard KWU.

Aardbevingsgebieden. Men kan niet zeggen dat de frequentie der aardbevingen in de een of andere eeuw groter of kleiner geworden is; wel zijn er decenniën met weinig en decenniën met veel aardbevingen aan te wijzen.

Daarentegen verschilt de frequentie plaatselijk zeer sterk. Daarvan heeft F. Montessus de Ballore het volgende overzicht gemaakt:

Aan sterke seismische werking onderhevig zijn: de Middellandse Zee, Klein-Azië, Perzië, de Himalaya, de Soenda-eilanden, Japan, de westkust van Noord- en Zuid-Amerika.

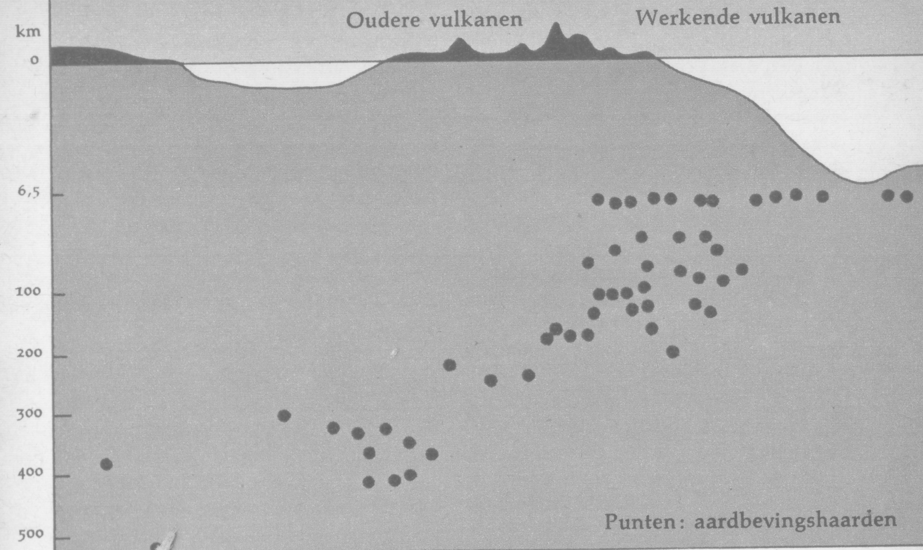
Aan zwakke seismische werking zijn onderhevig: Bohemen en andere bodemverheffingen die tot het oude Variscische gebergte in West- en Midden-Europa behoren.

Streken zonder aardbevingen: o. a. de Russische vlakte, het Canadese schild, de Noordduitse laagvlakte.

De twee voornaamste bevingsgebieden zijn de kusten van de Stille Zuidzee en die van de Middellandse Zee.

De pacificzone loopt langs de hele westkust van Amerika. Een aftakking loopt van Midden-Amerika langs de noordkust van Zuid-Amerika naar de Kleine en Grote Antillen. Van Noord-Amerika uit zet de pacificzone zich voort over de Aleoeten, de eilanden aan de oostelijke rand van Azië, naar Japan en de Philippijnen.

De Middellandse Zeezone strekt zich uit over de Middellandse Zee, de Alpen, Apenijnen, Karpaten, Balkangebergten. Via Klein-Azië en de Kaukasus reikt ze tot Mesopotamië



en Perzië en tenslotte de Himalaya. Van Achter-Indië af loopt dit gebied door naar de Soenda-archipel en sluit daar aan bij de pacificzone.

Aardbevings- en vulkaangebieden. Deze twee vallen samen. De vulkanen zijn echter niet de oorzaak van de aardbevingen, omgekeerd zijn de bevingen ook niet de oorzaak van vulkanische werking. Hun geografische nabuurschap komt hieruit voort, dat ze allebei begeleidingsverschijnselen zijn van de onvaste delen van de aardkorst in de nabijheid van de randen der continenten. Zij treden daar op, waar de schilden der vastelanden zonder schelf of ondiepe zee als overgang steil naar de afgronden van de diepzee afdalen.
Voorbeelden: de oostkust van Japan en de kust van Chili.

158 · Loodrechte doorsnede door de aardbevingsboog in Noord-Japan.
De haarden van vulkanische werking en hevige tectonische bevingen liggen hier vlak bij elkaar.
De oorsprongshaarden van de aardbevingen reiken tot een diepte van meer dan 500 km. De epicentra voor China, voor het eiland Sachalin en voor het Japanse eiland Hokkaido liggen dikwijls heel diep. De onderzeese aardbevingen, zeebevingen, met hun veranderingen van de zeebodem, veroorzaken hier de vreselijke tsoenami's.
In het geval van de aardbevingsboog Noord-Japan zijn alle voorwaarden voor zeer sterke aardbevingen en vulkanische werking aanwezig: een steil afhellen van de vastelandmassa naar de grootste zeediepte, onvaste delen van de aardkorst onder de diepzee, splijting van de aardkorst.

Aardbevingsgolven. Het binnenste van de aarde is niet ontoegankelijk. Al kan het licht niet tot de diepte doordringen, toch zijn er andere stralen die ons over de inwendige structuur van de aarde inlichten.

De aardbol is elastisch, hij raakt aan het trillen als de in zijn buitenste mantel, de aardkorst, ontstane spanningen zich in gesteentebreuken ontladen. Wij bespeuren die bewegingen, de aardbevingen, slechts in een bepaalde omtrek, van een bepaalde sterkte af. De moderne seismografen verfijnen echter onze zintuigen.
Sedert 1900, sedert E. Wiecherts verhandeling ‹Theorie der automatischen Seismographen›, worden instrumenten ontwikkeld, waarmee de eigenschappen, de afgelegde weg en de snelheid van aardbevingsgolven gemeten kunnen worden.
De aardbevingsgolven worden teruggekaatst, gebroken, trillen door de aarde en bewegen zich langs de oppervlakte. Binnen in de aarde doorlopen ze lagen van uiteenlopende structuur. Waar de dichtheid, elasticiteit of aggregaatstoestand van de materie verandert, worden de golven hetzij gesmoord, hetzij teruggeworpen, of doorgelaten en gebroken. De doorlopend opgenomen seismogrammen worden overal geanalyseerd en met elkaar vergeleken. De polsslag der aarde wordt van uur tot uur gevolgd en opgetekend.

Elastische golven: de snelle P-golven (undae primae), verdichtings- of longitudinale golven. De deeltjes trillen in de voortplantingsrichting van de golf. Er komen verdunningen en verdichtingen in de doorlopen stof voor. De langzamere S-golven (undae secundae), met transversale deeltjesbeweging: de beweging der deeltjes staat loodrecht op de voortplantingsrichting.

Bij de transversale golven «is iedere trillingsrichting mogelijk die loodrecht op de voortplantingsrichting staat en iedere combinatie van zulke trillingen. Bij het passeren van een transversale trillingsgolf treden geen verdunningen en verdichtingen op. Ze komen alleen in vaste lichamen voor, die weerstand bieden aan vormverandering.» (K. Jung)

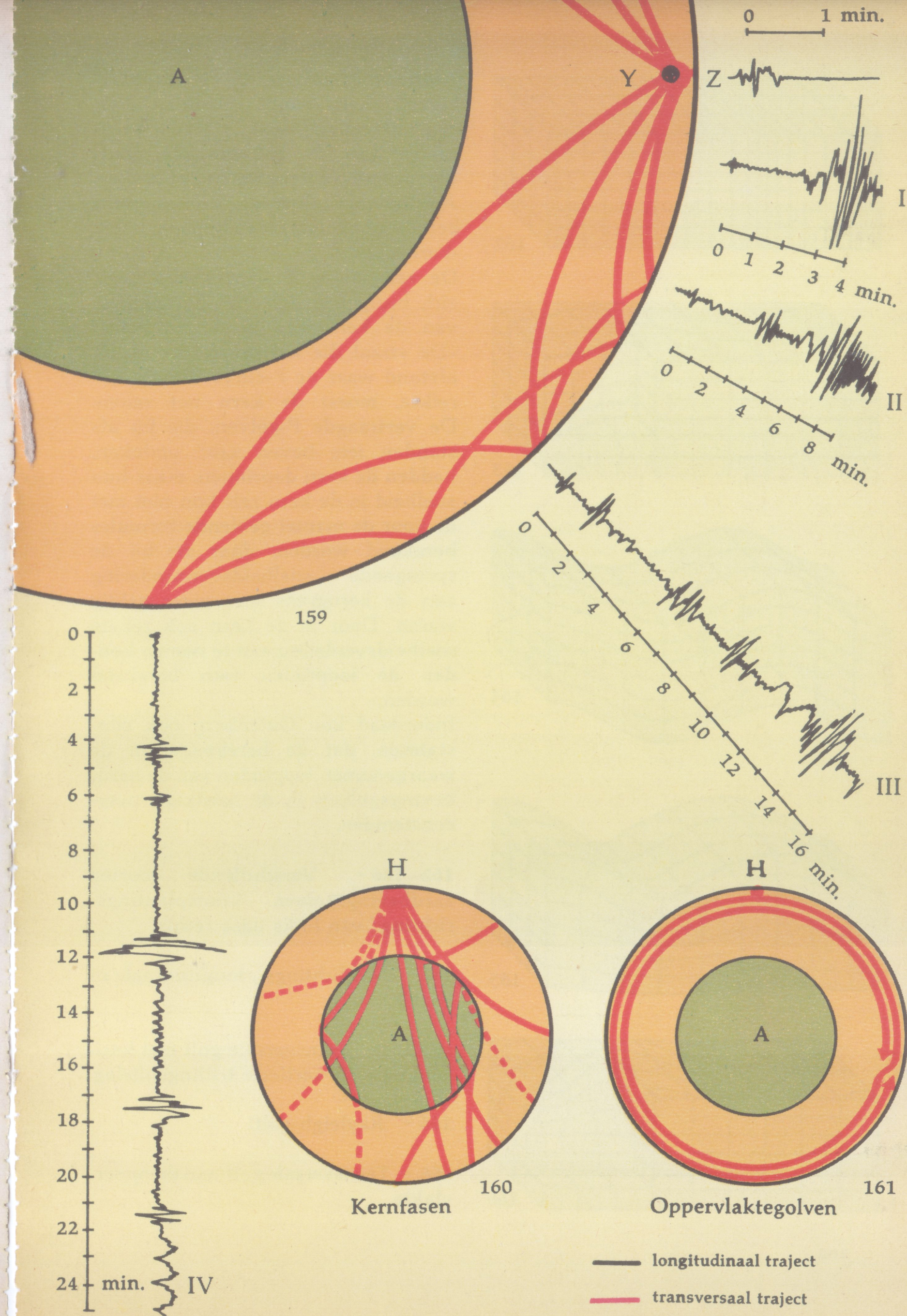
Rayleigh-golven of oppervlaktegolven — deze richten de zwaarste verwoestingen aan — zijn longitudinale of transversale golven die van een bepaalde afstand van de bevingshaard af het aardoppervlak bereiken. Ze treden op aan de grenzen van een elastisch lichaam en gelijken op watergolven. Ze kunnen ook veroorzaakt worden door aardbevingsgolven aan de oppervlakte en dan de hele aarde omcirkelen.

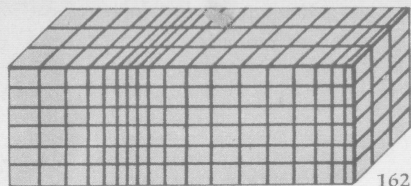
159 · Verbreiding van de aardbevingsgolven en hun notering door seismografen in de vorm van seismogrammen, en wel op verschillende plaatsen op aarde.

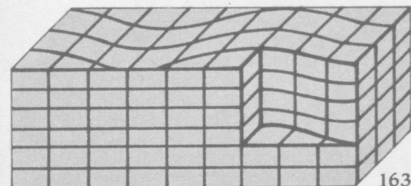
A = Aardkern, H = Aardbevingshaard, Y = Hypocentrum, Z = Epicentrum, Seismogram naast Z = beving ter plaatse. I naburige beving, II beving op tamelijke afstand, III beving in de verte, IV beving op zeer grote afstand.

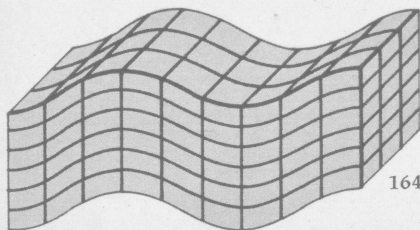
160 · Kernfasen.

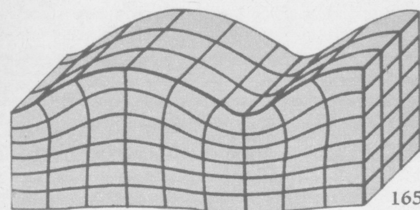
161 · Oppervlaktegolven.

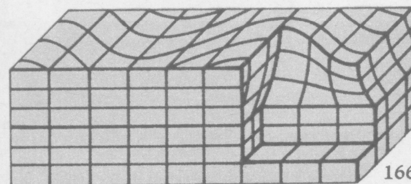












Aardbevingsgolven en de aardkern. De aardkern wordt omsloten door een begrenzingsvlak. Deze ‹kerngrens› kan de aankomende aardbevingsgolven terugwerpen of breken. Aardbevingsgolven die de kerngrens bereikt of overschreden hebben, heten ‹kernfasen›.

De seismoloog B. GUTENBERG heeft zich beziggehouden met de snelheid van de kernfasen in de aardkern: «De straal die het oppervlak op de afstand waar de P-curve afbrak, bereikte, moest de kern net raken. De vertraagde P-golven, die bij afstanden iets boven 140° opdoken, hadden de kern doorlopen, maar hun snelheid in de kern zelf kon niet met de voor de mantel geldende formules berekend worden, daar ze bij de springende snelheidsvermindering aan de kerngrens niet meer geldig waren. Door in de kern een zekere snelheidsverdeling aan te nemen konden de looptijden toch berekend worden.»

Inderdaad kon Gutenberg ook constateren, dat de berekende en de waargenomen looptijden van de aardbevingsgolven in de aardkern overeenstemden.

162—166 · Verschillende soorten aardbevingsgolven. Voortplantingsrichting: van links naar rechts.

162 · Verdichtings-, longitudinale of P-golf.

163/164 · Transversale golf met horizontale resp. verticale trillingsuitslag.

165 · Rayleigh-golf.

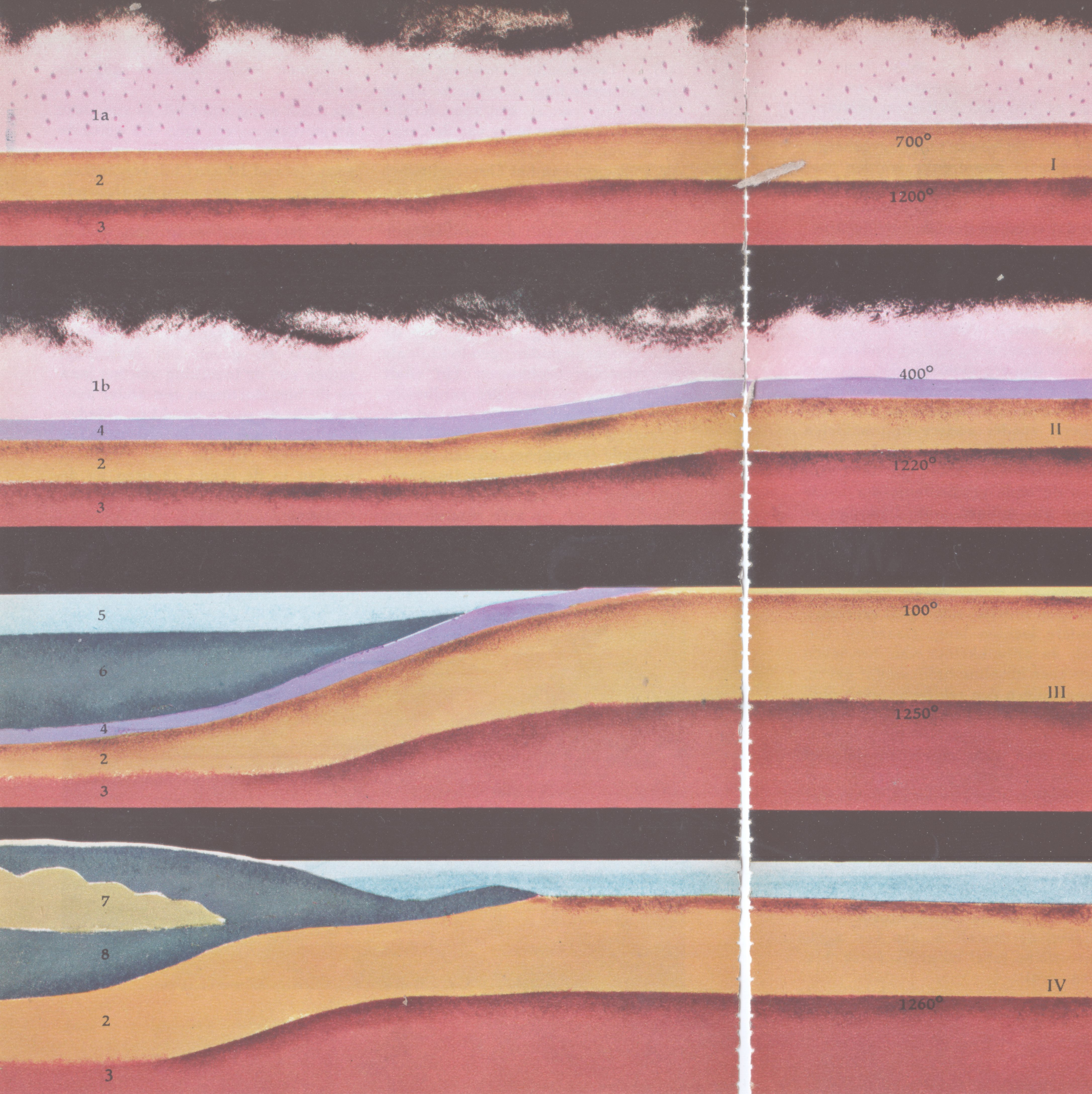
166 · Transversale golf aan de oppervlakte.



167 · Tectonische breukzone in de Zuidchileense hoge Cordilleras na de aardbeving van 22 mei 1960. Krater van de Rininahue, maar van de Caran en de vulkaan Puyehue.

W. WEISCHET van het Geographisches Institut te Freiburg kon op grond van persoonlijke waarnemingen en onderzoekingen in Chili de aardbevingen van 21 en 22 mei 1960 rangschikken als «een bedrijf van een geheel drama, als seismisch hoofdstuk van een geologisch-geomorfologische verhandeling». De geoloog, zegt hij, kan de catastrofale veranderingen in Chili als één complex bestuderen. Hij vindt daar, op de plaatsen der aardbevingen, de openbaringen van de uit het binnenste der aarde op de aardkorst werkende (endogene), en van de van buiten af er op werkende (exogene) processen zelf, die een gebied van 600 bij 200 km op vele plaatsen een volkomen ander aanzien gegeven hebben.

De aardbeving van Chili in 1960 was de sterkste sedert 1904. De geleerde kan de grote aardbevingen van voor 1904 niet met die van Chili vergelijken, omdat er voor 1904 geen doorlopende seismografische registrering plaats vond. Het aantal slachtoffers was in verhouding tot de kracht van de beving klein, doordat het ‹kleine Zuiden› van Chili niet dicht bevolkt is. Er kwamen 1.000 mensen om het leven. Vijf vloedgolven verwoestten de kust en gaven het landschap, samen met de inzinking van het land en de bergstortingen een ander aanzien. Op de zware schokken volgden nog talrijke nabevingen, die maanden aanhielden. In de stad Valdivia werden in de eerste 18 uren na de hoofdbeving 90 aardschokken geregistreerd.



XIV

CHRONOLOGIE VAN DE AARDE

Oertijd der aarde. De talrijke theorieën over het ontstaan van de aarde vallen in twee hoofdgroepen uiteen. ‹Warm ontstaan›: in den beginne was een gloeiende gasbol. — ‹Koud ontstaan›: in den beginne was diffuse materie in stofvormige toestand.

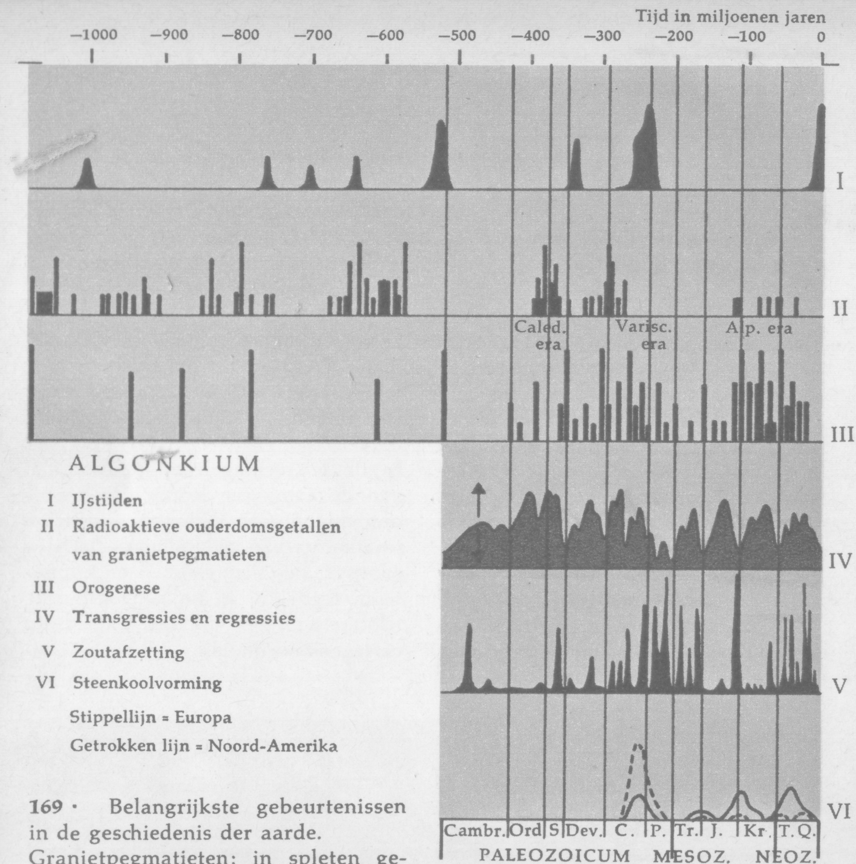
168 · De ontwikkeling van de aardkorst in de oertijd volgens A. Rittmann.
I De planeet ontstaat uit zonnemassa. De zonnematerie valt uiteen in oermagma en een gasmantel die het oermagma omgeeft. Het oppervlak van de planeet stolt: de ‹stollingskorst› van sima (silicium en magnesium) vormt zich.
II Boven de simalaag ontstaat de de hele aarde omspannende ‹bovenkorst›, een granietschaal van sial (silicium en aluminium). Daarop slaan tengevolge van verdere afkoeling de onderste lagen van de veranderde gasmantel neer.
III Er ontstaan een oerocceaan en een oercontinent. Op de siallaag van de aardkorst zetten zich de eerste bezinksels af, resten van de uiteenvallende bovenkorst die ook uit sial bestond.
IV Er vormen zich vastelanden en oceanen. De siallaag splitst zich in onder- en bovensial.
1 a gasmantel in de oertoestand, 1 b veranderde gasmantel, 2 simatische stollingskorst, 3 oermagma, 4 sialbovenkorst, 5 oeroceaan en oercontinent, 6 bezinksels en resten van de sial-bovenkorst, 7 bovensial, 8 ondersial.

‹Warm› en ‹koud› ontstaan van de aarde. Die geleerden die een warm ontstaan voorstaan, onderstellen dat onze planeet oorspronkelijk een gloeiende gasbol geweest is, die langzaam afkoelde en daarbij eerst vloeibaar en toen vast werd. Zij stellen zich dit proces ongeveer zo voor: Het licht van de ster Aarde doofde uit, het ging schuil achter de slakken die op de gloeiende brij dreven. Voorgoed donker werd het, toen zware, door storm bewogen wolkenvelden van ammoniak, koolzuur, zwavel, chloor het uitgebrande oppervlak van zonlicht beroofden. Alleen plotseling uitbarstende vulkanen en scheurende lavabanken ter grootte van hele continenten lieten nu en dan de vuurstromen uit het binnendste los. Na een afkoeling van miljoenen eeuwen viel er miljoenen jaren lang een giftige zuurregen op het eerste bolpantser. In die ‹zondvloed van de aardmantel› werd de kokende oeroceaan op de zwarte oergrond geboren.

Een jongere theorie gaat uit van een koud ontstaan van de aarde. Volgens deze wervelden er om de oerzon stof- en gasmassa's, die ten dele uit de eindproducten van kernfusies bestonden. Door de wederzijdse aantrekking der massa's voegden stof en gas zich aaneen tot vaste planeten en manen. De vermoedelijk eerst koude planeten werden toen door toenemende druk en radioactieve processen zeer snel heet, zodat onze aarde — misschien tot het oppervlak toe — vloeibaar werd.
De oudste gesteenten van de aardkorst, die wij aan haar oppervlakte kunnen bestuderen, zijn allemaal veel jonger dan dit proces.

Ouderdom der aarde en de bepaling daarvan. Uit de gesteenten en hun ligging kan men weliswaar afleiden, dat er delen van de aardkorst samengedrukt zijn tot een plooiingsgebergte en daarbij doordrenkt werden met magmatisch gesteente, dat ze later gesloopt werden en verschrompelden en dat er boven deze besnoeide structuren een laag jonger gesteente ligt. Gesteenten uit lang geleden aardgeschiedkundige tijden hebben door latere processen meestal stoffelijke en structurele wijzigingen in diepere, warme aardkorstgebieden ondergaan. Het is dus erg moeilijk, die nog van hen ‹af te lezen› processen over grote afstanden, van continent tot continent, zonder andere hulpmiddelen te synchroniseren.
Dit wordt pas anders bij het begin van de oude geschiedenis der aarde voor 600 miljoen jaar. Van dan af levert de met vaart beginnende ontwikkeling van hoger georganiseerd leven voor bepaalde perioden kenmerkende grondvormen. Sommige groepen ontwikkelden zich zeer snel, andere leefden lang. Daardoor kan ook de ontwikkeling van het leven ons geen absolute tijdmaatstaf geven, maar alleen een relatieve: even oud, jonger, ouder.

Daar men kan aannemen dat het radioactieve uiteenvallen altijd met dezelfde snelheid verloopt, is het met fysische methoden mogelijk, absolute tijdperken der aardgeschiedenis te bepalen. Deze methoden tot het vaststellen van de absolute ouderdom van gesteenten geven ons de tijdbakens voor de aardgeschiedenis en maken de opstelling van een aardhistorische tabel mogelijk *(verg. blz. 218—219)*.



169 · Belangrijkste gebeurtenissen in de geschiedenis der aarde.
Granietpegmatieten: in spleten geperste, gestolde resten van vloeibaar graniet, bestaande uit kwarts, veldspaat, glimmer.
Transgressie (= overschrijding): opdringen van de zee. Regressie: terugwijken van de zee.
Orogenese (oros: berg, genesis: vorming): gebergtevorming.
De zoutafzetting toont, in welke mate vlakke zeebekkens meer en meer afgesnoerd werden en indampten, en dus de geocratie, het overheersen van het land, toenam.
Deze krommen kenschetsen dus de intensiteit van de bewegingen der korst. R. BRINKMANN heeft bij dit vergelijkende overzicht opgemerkt: «De enige regel die misschien af te lezen is, is de toeneming van plooiingstijden en plooiingsintensiteit in latere tijden . . . De gebergtevorming schijnt in jongere perioden vaker plaats te hebben en koepelvormige opheffing van de oude kristallijnen gesteenten en de vorming van de dekbladen van het Alpiene gebergte schuiven steeds dichter opeen.»

170 · Verdeling van land en zee in het Cambrium, de oudste geologische periode.

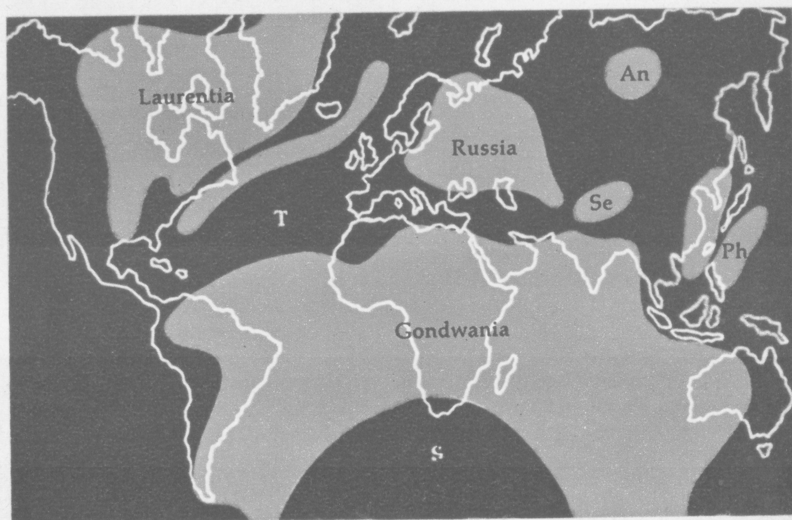
Zeeën: T Tethyszee; S Zuidelijke Oeratlantische Oceaan.

Vastelandmassa's: An Angaria; Se Serindia; Ph Philippinia.

De ‹Algonkische omwenteling› in het Late Algonkium van het Precambrium was de geotectonische wereldommekeer geweest: na een ver gevorderde verstarring van de aardkorst had deze ommekeer, deze ‹regeneratie›, de aardkorst weer plastisch en plooibaar gemaakt. De planeet verjongde zich.
Zo begon met het Cambrium de geotectonische ‹avond› die nog voortduurt. In het Cambrium onderging het klimaat grote schommelingen. In het Vroege Cambrium traden verijzingen op: China, India, Australië, Europa, Afrika en Groenland (verg. blz. 118).

171 · Verstening uit het Cambrium: een triboliet. Dit waren de heersers over de wereldzeeën. Met kopschild, staartschild, voelsprieten, mondpoten en kiemdragende spleetpoten waren ze tegen alle gevaren beveiligd.

Er waren reuzen van een halve meter onder. Daar ze tot het eind van het Siluur geen vijanden hadden, kon hun geslacht 300 miljoen jaar in stand blijven.
In de leisteenlagen op de hoogten van de Canadese Rocky Mountains ontdekte CH. D. WALCOTT een ware schatkamer van versteningen. Behalve sponsen, kwallen, slakken en koppotigen, legde hij in de lagenvolgorde tribolieten bloot die het Cambrium vertegenwoordigden. ▷





Zee-orthogeosynclinaal
Zee-epicontinentaal
Vasteland (oldred-)
ontwikkeling sedert Vroeg Devoon

Zee= orthogeosynclinaal
Zee= epicontinentaal
Vasteland (oldred-)
ontwikkeling naar Later Devoon

172 · Verdeling van zee en land in het Devoon (volgens R. Brinkmann). Deze formatie dankt haar naam aan het Engelse graafschap Devonshire, waar haar afzettingen wijd verbreid voorkomen en voor het eerst grondig bestudeerd werden. Ze duurde van 400 miljoen jaar tot 320 miljoen jaar geleden.
Orthogeosynclinaal: korststrook met sterke nederwaartse beweging en overeenkomstig sterke sedimentvulling: de basis ligt op grote diepte. Hier gaan in de volgende plooiingsperiode nieuwe plooigebergteketens van uit, die vastgelast worden aan de al tectonisch geconsolideerde, dus stijver reagerende continentale ketens.
Epicontinentaal: ondiepe zeegebieden die tijdelijk stukken van het vasteland overstromen. Als gevolg van de aan het Devoon voorafgegane Caledonische plooiingsperiode waren grote vlakten drooggevallen. Hier zetten zich onder woestijn- en halfwoestijncondities rode zandsteensoorten af. Deze devoonsedimenten worden ‹old red (sandstone)› genoemd en de ontstaansgebieden op het vasteland ‹oudrood Noordland›.
Tegelijk met het Devoon begon de ontwikkeling van de vaatplanten. Dit waren eerst kleine, kruidachtige naakte planten (Psilofyten) met nog niet gedifferentieerde, dus niet in stengels en bladeren onderscheiden twijgen, die aan hun eind als voortplantingsorganen naakte sporenzakjes droegen. In het mildere Devoon traden daarnaast voorlopers van de paardestaarten, wolfsklauwen en varens op, die een verdere differentiëring en hogere organisatie vertoonden en wier stammen tot 2 meter hoog werden. In het Late Devoon maakte de verovering van het luchtruim verdere vorderingen. Er traden echte wolfsklauwen op als bomen tot 8 m hoog. Echte varens werden 3 tot 4 m hoog. Maar al die planten waren nog aan de nabijheid van water gebonden, want hun voortplanting vereiste voor de beweging van de spermatozoïden altans een druppeltje water. Even snel ontwikkelde zich toen de dierenwereld. Rifvormende koralen kregen grote betekenis, machtige rifkalksoorten waren wijd verbreid. Nu verschenen ook echte ammonieten (‹Ammonshorens›); ze leveren behalve Brachiopoden (armvoetigen) belangrijke grondvormen in de waterwereld. Een werkelijk explosieve ontwikkeling vertonen in de loop van het Devoon de vissen. De pantservissen beleven nu hun bloeitijd, maar verdwenen aan het eind van het Devoon bijna helemaal. Hun grootste vertegenwoordiger bereikte een lengte van 6 m en een schedelbreedte van 1 m. De kraakbeenvissen werden door ouderwetse haaiensoorten vertegenwoordigd. De eerste beenvissen traden op. Cladoselachen waren niet zeldzaam. Longvissen konden in de harde levensomstandigheden van het Rode Noordland dank zij hun organisatie leven. Merkwaardig zijn de Kwastvinnigen, die zich nu rijk ontplooiden en tot in het Krijt bekend waren — totdat men in 1938 voor de oostkust van Zuid-Afrika het eerste levende exemplaar, dat blijkbaar uit zijn schuilplaats in grotere zeediepten naar boven gekomen was, in een net ving.
Tien jaar te voren had men in het ‹old red› van Oost-Groenland de beenderen van de oudste gewervelde dieren te land, primitieve amfibieën ontdekt, die zich uit de Kwastvinnigen ontwikkeld hebben.
Omstreeks de overgang naar de volgende Carboontijd beginnen de eerste fasen van de Variscische plooiingsperiode.



173 · Paleografische kaart voor de overgang van Carboon naar Perm.
Tilliet: fossiel keileem dat uit losse afzettingen tot vast gesteente vervormd is en waarin geschramde en bekraste brokjes opgesloten zitten. Tillieten zijn ontstaan in de ijstijden voor het Pleistoceen.
Glossopterisflora: flora waarvoor de glossopteris karakteristiek is. — Glossopteris: varenachtige plant met lange tongvormige bladeren, was van Carboon tot Trias op het Zuidelijk Halfrond verbreid. Symptoom van een koud klimaat.
Euramerische flora: haar gebied strekt zich uit van Zuid-Amerika tot Noord-Afrika en over het Oosten van de zuidwestelijke helft van Europees Rusland. Symptoom van een warm klimaat.
Tijdens het Carboon vormden zich verscheidene grote gebergten, o. a. het Variscische. Het vochtig-warme klimaat deed in weelderige woudvegetatie een veelvoudige plantenwereld met talrijke nieuwe vormen ontstaan. In de inzinkende zones voor en tussen de gebergten ontstonden moerassen, waaruit zich onder druk en hitte steenkoolbeddingen gevormd hebben. Tegen het eind van het Carboon trad er plaatselijk verijzing op, onder de invloed waarvan er een nieuwe plantenwereld ontstond (naaldbomen).

Het leven vestigt zich op het land. Voordat het leven van de zeeën uit het land binnendrong, waren de vastelanden en eilanden, die uit de wereldzee opstaken, meedogenloos naakt.

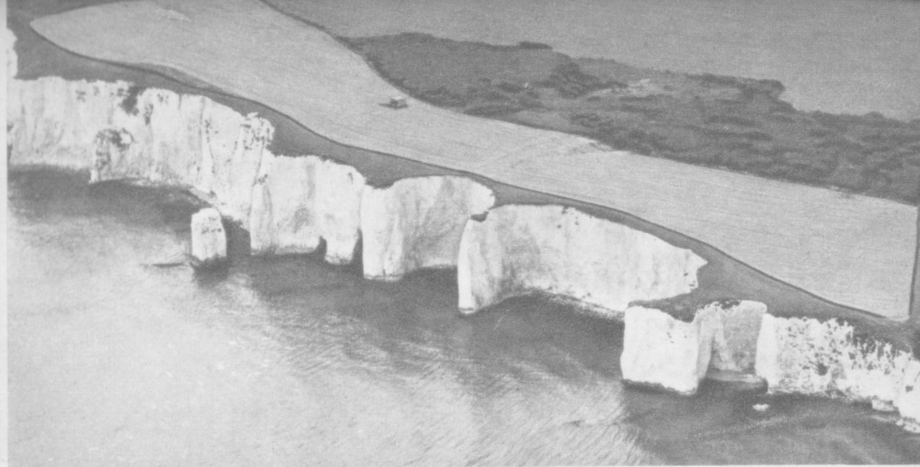
Geen humusgrond en plantenkleed hielden het zand van woestijnen en berghellingen vast.

Het opdringen van de plant — en daarmee ook van het dier — van de zee uit het land in heeft zich buitengewoon langzaam voltrokken. De planten moesten eerst, in een vaak lange ontwikkeling, de daarvoor nodige gedifferentieerde organismen vormen.
In de oudste Siluur verlieten de eerste psilofyten de zee en zochten brak water en natte gebieden van het vasteland op. Voor de geologie is dit van de grootste betekenis: voordat het land in bezit genomen was zijn alle sporen van leven bewijzen van de aanwezigheid van de zee: de gesteenten van het vasteland waren leeg en verlaten.

Onder de planten en dieren was een groot aantal dat in zeewater, brak en zoet water soms in zulke hoeveelheden voorkwam, dat uit hun onvergankelijke harde deeltjes soms dikke lagen ontstaan zijn. Vaak zijn het zelfs microörganismen, zoals de kiezelschalige radiolaria (Cambrium tot heden), uit wier opgehoopte schalen kiezelleisteen en radiolarieten voortgekomen zijn. De eveneens eencellige foraminiferen (sporadisch al in het Cambrium, verbreid sedert Carboon) zijn kalksteenvormers. Niet alleen koraaldiertjes hebben riffen gebouwd, maar soms ook sponsen, kalkalgen en in zechsteen zelfs de fijn vertakte mosdiertjes (Bryozoën). In zoetwatermeren hebben zich sedert het Lias onder gunstige omstandigheden soms de kiezelalgen (Diatomeeën) zo rijk ontplooid, dat de door hun schalen gevormde sedimenten als kiezelslik ontgonnen worden.

In moerassen ontstond uit mossen, grassen, kruiden en hout turf, die tot bruin- en tenslotte steenkool kon worden. Economisch zijn ook van waarde de produkten die uit de ophoping van dierlijke en plantaardige substantie in de vorm van rottingsslik ontstaan zijn bij gebrek aan zuurstof, maar zich in de regel naar holtenrijke gesteenten verplaatst hebben: aardolie en aardgas, en het natuurlijke oxydatieprodukt van aardolie: asfalt.

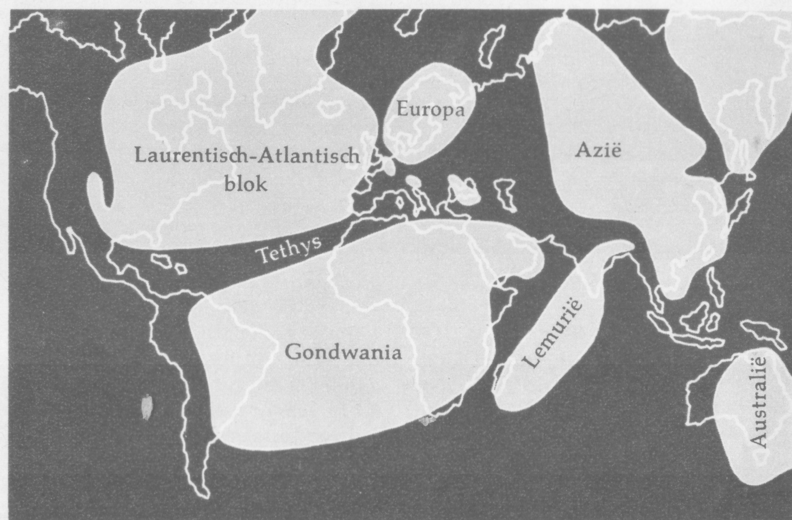




△ 174 · Reconstructie van een woud in de Steenkooltijd in het Field Museum Chicago.

176 · De Engelse krijtkust, afzettingsgebied van fossiele microörganismen. ▷

▽ 175 · Vastelanden en zeeën in de tijd van Jura tot Krijt.

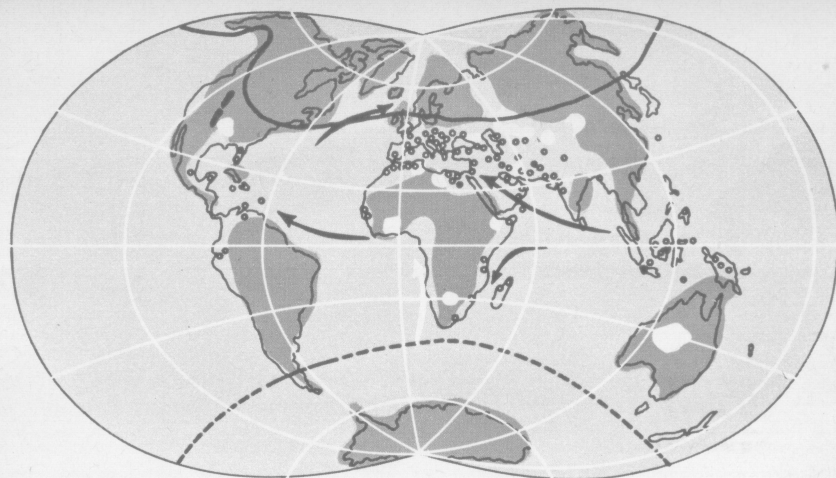


Namen der formaties en tijdperken. Toen 200 jaar geleden de geologie in Thuringen begon, vond zij daar een gunstige, gemakkelijk te overziene situatie, want de lagencomplexen van dat gebied liggen niet alleen ongecompliceerd, maar verraden bij de eerste blik een volgorde van boven elkaar gelegen series, die zich duidelijk door steensoort en kleur van elkaar onderscheiden.

De mijnwerkers die daar de koperleisteen ontgonnen, noemden de onder de dunne ertslaag liggende rode steen eenvoudig het roodliggende, de taaie kalk en dolomiet er boven noemden ze zechsteen (taaie steen). De daar boven liggende meestal rode, soms ook lichte zandsteen noemde men bonte zandsteen en tenslotte de grijze kalk daar boven, wegens de talrijke versteende schelpen in sommige lagen, schelpkalk. De namen van deze lagen werden toen overgedragen op geologische perioden. Formaties die naar karakteristieke gesteenten genoemd zijn zijn Carboon of Steenkool en Krijt. Andere heten naar Keltische stam- en landschapsnamen (Cambrium, Ordovicium, Siluur) of naar tegenwoordige geografische begrippen (Devoon, Perm, Jura). Het Algonkium, dat in Noord-Amerika grote vlakten beslaat, heet naar een Indianenstam.

Archaïcum (archaios: oeroud), Trias als samenvatting van de drie formaties bonte zandsteen, schelpkalk en keuper, Tertiair en Quartair — hun namen stammen uit de tijd toen men de oudere formaties onder de verzamelnamen Primair en Secundair had samengevat — zijn aan Griekse en Latijnse woorden ontleend.

Aan het Grieks zijn de namen ontleend die op ‹-ceen› uitgaan (kainos: nieuw); het eerste lid van de samenstelling geeft de graden van nieuwheid (in dit geval van de levende wezens) aan, eindigend bij het heel nieuwe: holoceen (= na de IJstijd).



177 · Klimaatkaart van het Oude Tertiair. Boven en onder de gematigde zones, in het midden de warme. Polaire ijskappen hadden zich toen, 70 miljoen jaar geleden, nog niet gevormd.
Zwarte pijlen: warme zeestromingen. Witte pijl: koude zeestroming.

Periodisering. Reeds bij de eerste pogingen om de in het hart van Europa opgestelde volgorde der formaties in naburige gebieden of zelfs op andere continenten terug te vinden, bleek er een heleboel niet te kloppen. Want evenals zich tegenwoordig al naar de omstandigheden in verschillende gebieden zeer uiteenlopende sedimenten vormen, zijn ook in de loop van de aardgeschiedenis niet overal dezelfde sedimenten ontstaan. Daardoor moet iedere chronologische parallelisering alleen al door de steensoorten binnen zeer nauwe grenzen blijven.
Er waren chronologische bakens van een heel andere aard nodig. Al in het begin van de vorige eeuw hadden enige geleerden opgemerkt, dat de in verschillende formaties zittende fossielen (fossa: gegraven gracht), d.w.z. de resten van vroegere wezens, zeer verschillen. Omdat zulke grote verschillen niet het gevolg konden zijn van begrensde veranderingen, ontstond de voorstelling van grote, de hele wereld betreffende omwentelingen als oorzaken van de opeenvolging der formaties.
Een eeuw geleden ging men inzien, dat ook het leven een ontwikkeling doorloopt. Iedere soort stamt af van een oudere, in het systeem dicht bij elkaar staande vormen moeten dus ook ontwikkelingshistorisch verwant zijn. Dit gaf aan de bestudering van



178 · Verdeling van land en zee bij het begin van het Tertiair.

De op de kaart weergegeven voornaamste bergketens zijn ontstaan in de alpidische era. Onder dit begrip worden alle plooiingsfasen van het meso- en het neozoïcum samengevat.

Chronologisch deelt men de alpidische era in in oudalpiene (voortertiaire), middenalpiene (oudtertiaire) en jongalpiene (jongtertiaire) plooiingen.

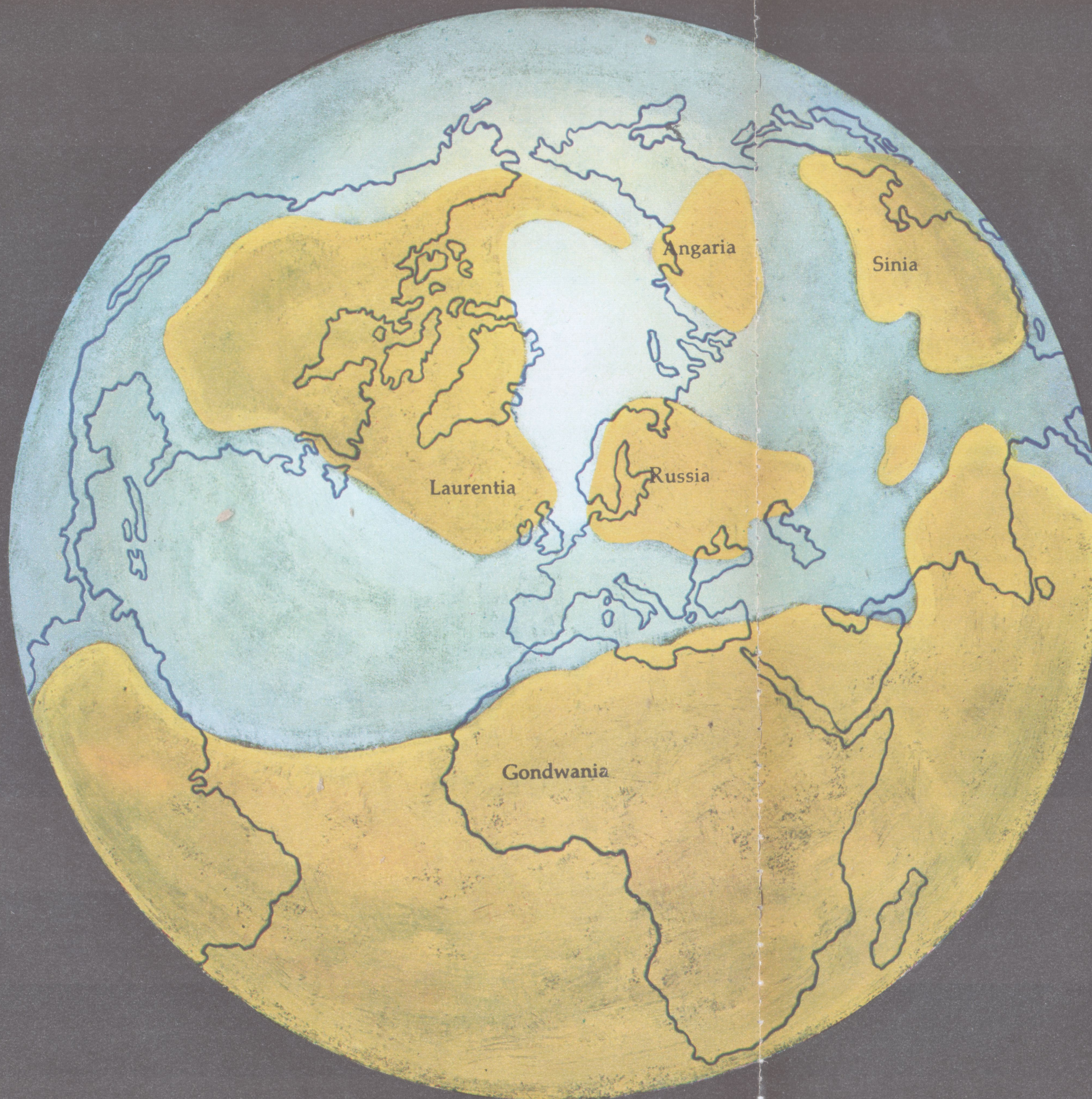
In deze era ontstonden de tegenwoordige hooggebergten der aarde: de Alpen en Pyreneeën, de Apenijnen, Karpaten, Kaukasus en Himalaja, evenals de gebergten in het Westen van het Amerikaanse continent.

prehistorisch leven door de paleontologie een bijzondere prikkel. Er bleken zeer lang levende soorten te hebben bestaan en soorten die in bepaalde tijden opmerkelijk snel veranderden. Als het daarbij gaat om vormen die in zee leven, dus in een gebied met veel minder wisselende omstandigheden dan het vasteland en waar tevens een zeer grote verbreiding van zulke soorten mogelijk is — dan levert de verandering der soorten bakens op, die het mogelijk maken lagenseries van soms maar een paar meter dikte over grote afstanden, soms in de orde van continenten, chronologisch te paralleliseren. Als bovendien, zoals bij de Ammonieten, de schalen van dode dieren door stromingen ver vervoerd worden, dan leveren die voor chronologische parallelisering ideale voorwaarden.

Absolute datering. De chronologische parallelisering van zee- en landsedimenten is moeilijk, als er geen overgangsgebieden bewaard zijn, die een correlatie mogelijk maken. Lagenseries met weinig of helemaal geen fossielen zijn niet te dateren. Ook paleontologische bakens kunnen echter slechts relatieve geologische tijdschalen opleveren. Slechts zelden en voor korte tijdspannen is het mogelijk, door jaarringen betrouwbare absolute maatstaven te verkrijgen.
Hier komt nu de natuurkunde te hulp. De radioactieve afbraak van instabiele elementen verloopt met meetbare, van buiten af niet beïnvloedbare snelheden. De koolstofisotoop C_{14} laat dateringen toe in orden van duizenden tot tienduizenden jaren. Veel verder achter ons liggende tijden kunnen, als ze tenminste magnetisch gesteente bevatten, met de radiolood- en andere methoden bepaald worden.

AARDHISTORISCHE TABEL

Hoofdtijdperk	Periode	Tijdvak		Hoeveel milj. jaren geleden begonnen	Duur in milj. jaren	Soorten Gesteenten
KAINOZOÏCUM NEOZOÏCUM	QUARTAIR	Holoceen *Alluvium,* *Postglaciaal*				Leem, puin, zeezand en slik, duinen
		Pleistoceen *Diluvium*		1	1	Zand, kiezel, klei, keileem, löss
	TERTIAIR	Jong-tertiair	Plioceen	11	11	
			Mioceen	25	14	Bruinkool, zand, kiezel, klei, kaolien, mergel, kalksteen, bazalt, fonoliet, trachyt, andesiet, tuf
		Oud-tertiair	Oligoceen	40	15	
			Eoceen	60	20	
			Paleoceen	70	10	
MESOZOÏCUM	KRIJT	Jong Krijt	Dan Senoon Emscher Turoon Cenomaan	135	65	Klei, zand, kalksteen, mergel, krijt; bruikb. gesteenten: ijzererts, plaatselijk ook aardolie, steenkool
		Oud Krijt	Gault Neocoom			
	JURA	Witte Jura *Malm*	Jonge Malm *Portland* Middenmalm *Kimmeridge* Oude Malm *Oxford*			
		Bruine Jura *Dogger*	Jonge Dogger *Callovien en Bath* Middeldogger *Bajocien* Oude Dogger	180	45	Klei, zandsteen, kalksteen, mergel
		Zwarte Jura *Lias*	Jonge, midd., oude Lias			
	TRIAS	Keuper Schelpkalk Bonte zandsteen	Germaansche Trias	220	40	Zandsteen, kalksteen, dolomiet, klei, mergel, conglomeraten, anhydriet, gips, steenzout
PALEOZOÏCUM	PERM *Dyas*	Jong Perm	Zechstein			
		Oud Perm	Jong rotliegendes Oud rotliegendes	270	50	Koperleisteen, kalksteen, dolomiet, anhydriet, gips, zoutlagen, letten, zandsteen, conglomeraten, schieferklei, steenkool, porfier, melafier, tuf
	CARBOON	Jong Carboon	Stefanien Westfalien Namur	350	80	Steenkool, zandsteen, grauwacken, conglomeraten, schieferklei, kleischiefer, kiezelschiefer, kalksteen, graniet, syeniet, dioriet, gabbro, porfier, keratofier, melafier
		Oud Carboon	Visé, Tournai } Dinant			
	DEVOON	Jong Devoon	Famenne { Dasberg, Hemberg, Neede } Frasnes			
		Midden-devoon	Givet Eifel	400	50	Kalksteen, zandsteen, kwartsiet, grauwacken, kleischiefer, keratofier, tuf; bruikb. ook: diabasen, marmer, ijzererts
		Oud Devoon	Jong Ems Oud Ems Siegen Gedinne			
	SILUUR *Ordogot*	Jong Siluur *Gotlandium*		440	40	Kleischiefer, aluinschiefer, kiezelschiefer, kwartsiet, grauwacken, kalksteen, diabasen
		Oud Siluur *Ordovicium*		500	60	
	CAMBRIUM	Jong Cambrium *Potsdamiaan* Middencambrium *Acadien* Oud Cambrium *Georgien*		600	100	Conglomeraten, zandsteen, kleischiefer, kalksteen, diabasen, porfier
PROTERO-ZOÏCUM	PRE-CAMBRIUM	Jong Algonkium		ca. 1100	500	Overwegend metamorfe gesteenten: gneis, glimmerschisten, fylliet, kwartsiet, porfier
		Oud Algonkium		ca. 1800	700	
		Archaïcum		3000	1200	
AZOÏCUM				5000	2000	Ontstaan van de aarde



XV

UIT DE BOUWHISTORIE VAN DE AARDKORST

De ondergrond van de Cambrische lagen. De oudste gesteenten van de aardkorst moet men zoeken in de ondergrond van de Cambrische lagen. Bij het ontstaan van plooiingsgebergten in het Late Cambrium zijn evenwel naast deze oudste ook veel jongere gesteenten vervormd, tot gneizen en glimmerschisten. Het is daardoor erg moeilijk, in zulke plooiingsgebieden de grens tussen Precambrisch en Cambrisch oergebergte aan te wijzen. Tussen deze geplooide gebieden in strekt zich echter over uitgebreide ruimten ongeplooid Cambrium uit, dat vlak op de oudere ondergrond ligt. Maar die oudere ondergrond bestaat niet alleen uit het oudste gesteente van de aardkorst, eerder is de onmiddellijke ondergrond van het Cambrium een vlak liggend, nog fossielloos lagencomplex, dat tot het Precambrische Algonkium behoort: continentale afzettingen, vooral zandsteen. Het gelijkt in meer dan een opzicht op de rode-zandsteen van het Old Red (Devoon), ook op soortgelijke afzettingen uit het Perm en vooral Trias (New Red Sandstone). Evenals deze ligt ook het Oldest Red van het Algonkium discordant op een plooiingsgebergte uit het Algonkische plooiingstijdperk.

179 · Gebieden waarin onder vlak liggend Algonkium en Cambrium en jongere lagen de oudste gesteentecomplexen over grote afstanden te voorschijn komen.

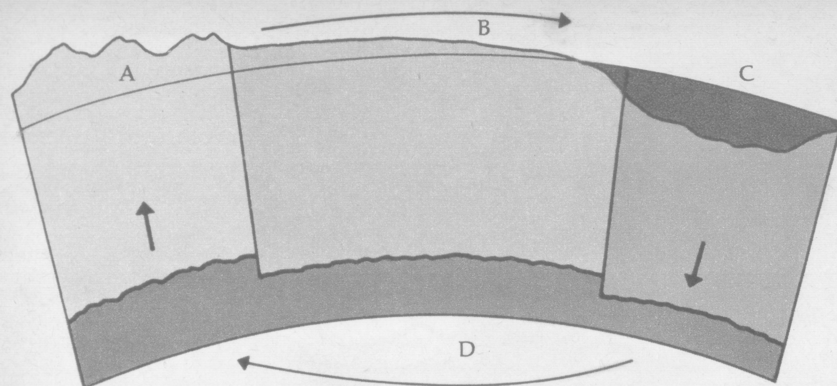
Oercontinenten. Als oercontinenten, blokken, schilden of tafels betitelt men de na de Algonkische omwenteling, dus aan het begin van het Late Algonkium, aanwezige vast geworden delen van de aardkorst.
Als ‹Laurentina› (naar de rivier St. Laurens) of ‹Canadees schild› treedt de basis van het Noordamerikaanse vasteland — waarbij ook het grootste deel van Groenland behoort — in grote uitgebreidheid aan de oppervlakte.

Binnen het Euraziatische continent komen de oude basisgesteenten op verscheidene plaatsen aan de dag. In het Noordwesten: ‹Russia› of ‹Fennosarmatia› (naar de Finnen en Sarmaten), dat Zweden, Finland en het grootste deel van Europees Rusland omvat. In Noordoostelijk Siberië: ‹Angaria› (naar een rivier in de buurt van het Baikalmeer). Onder het Tarimbekken: ‹Serindia› (naar de Seren, in de Oudheid een Aziatisch volk dat zijde voortbracht). ‹Sinia› beslaat een groot deel van China.

De uitgestrektste vlakten basisgesteente vinden we in het Zuiden, in ‹Gondwania› (land van de Gondstam in Voor-Indië): Zuid-Amerika buiten de Andes, geheel Afrika behalve de zuidelijke top en de noordwesthoek, het aangrenzende Arabië, West-Australië, het van het overige Eurazië door jonge plooiingsgebergten gescheiden schiereiland Voor-Indië, grote stukken van Antarctica. In het midden van de Atlantische Oceaan is de vroegere verbinding tussen Zuid-Amerika en Afrika later tot oceanische diepte gedaald. Ook de gehele Indische Oceaan is niets anders dan een ingezakt gebied binnen de uitgebreide massa van Gondwania.

Oercontinenten en plooiingen. In de basisgebieden komt het oude gesteente niet overal aan de oppervlakte. Vaak is het verborgen onder jongere, ten dele mariene bezinking. Daar komen vooral in Brazilië en India bekkens van bazaltische lava bij. Beslissend is: al die jongere bedekkingen liggen vlak, dus was hun laatste plooiing de Algonkische. Terwijl in de beweeglijker gebieden van de aardkorst, aan de rand van deze blokken en tussen hen in, in jongere era's uitgestrekte plooiingen plaats hadden, bleven de basisgebieden stijf; ze ondergingen golvingen met wijde spanning en bij breuken beweging van grondstukken. Daaruit is voor de aardhistorie een belangrijke conclusie te trekken: de op afb. 179 voorgestelde streken van oud gesteente zijn niets anders dan de vaste vastelandskernen, de oercontinenten. In iedere van de drie volgende grote plooiingsperioden — Caledonische van Gotlandicum tot Devoon, Variscische in het Carboon, Alpiene in het Mesozoïcum en Neozoïcum — werden de nog beweegbare tussengebieden geplooid. Door de gebeurtenissen in de diepte, die de plooiingen veroorzaakten, kreeg telkens een nog mobiel tussengebied het stijve karakter van de vastelandskernen. Daarbij werden die kernen telkens groter door ‹aanlassing›.

Stijve gebieden zijn ook de al aan het eind van het Oudalgonkium bestaande oeroceanen, waarvan de Oerpacific het diepst gelegen vaste deel van de aardkorst is.



Laurentische plooiingsera. Aan de Algonkische plooiingsera was nog een oudere voorafgegaan, de Laurentische. Die oude plooiingen hadden de hele aardkorst zo doen verstijven, dat er aan het begin van het Algonkium helemaal geen plooibare gebieden waren. Maar in het oudere Algonkium werd de korst gemobiliseerd door de Algonkische omwenteling; hij werd weer plooibaar — met uitzondering van de stijf blijvende oercontinenten en oeroceanen.

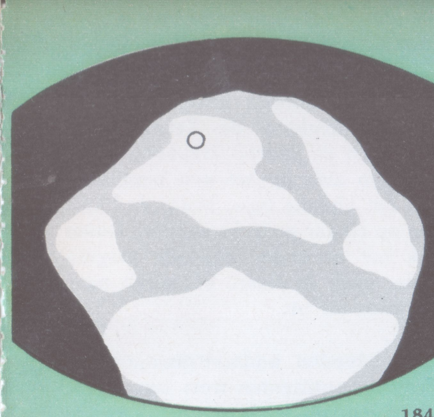
Nadien heeft de vorming van plooiingsgebergten alleen plaats gehad in de ruimten die door die omwenteling weer plastisch geworden waren. Daarbij werden telkens mobiele stukken stijf en aangelast aan de reeds stijve delen, maar soms later ook wel weer beweeglijk. Op den duur werd toch het plooibare gebied steeds kleiner, tot in het aardhistorische heden — na een ontwikkeling van 700—800 miljoen jaar — de hele korst opnieuw verstijfd is.

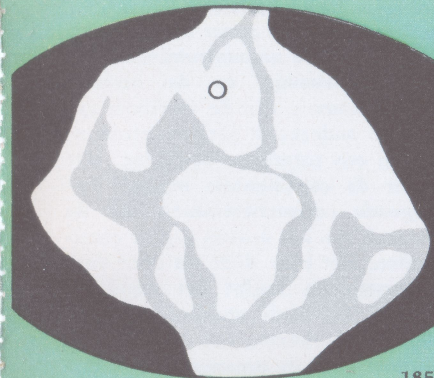
180 · Schematische tekening van het isostatische evenwicht in de aardkorst. Isostasie is het ontstaan van een evenwichtstoestand tussen afzonderlijke stukken aardkorst.
De lichtere massa's der aardkorst, vastelanden en gebergten, ‹drijven› op een vloeibare ondergrond, die zwaarder is. Met gebergten bezwaarde stukken duiken dieper in de ondergrond dan vlakke vastelanden.

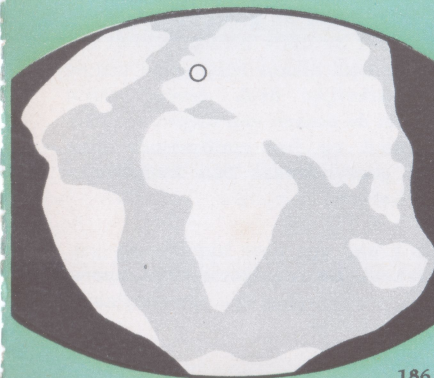

181


182


183


184


185


186

Theorie van Alfred Wegener: Verschuiving der continenten. Nadat de maanmassa zich uit het Pacificgebied heeft losgemaakt blijft er een rest van lichte continentale massa over (‹Pangea›) die op de plastische onderlaag drijft; de delen er van stoten op elkaar of drijven uiteen onder de invloed van de aardwenteling. Door het op elkaar schuiven en door opeenstapeling ontstaan bij de raakvlakken de grote plooiingsgebergten. Aan de achterkant van de grote stukken komt de simatische ondergrond vrij: de diepzeebodem.

Stromingstheorie van Gutenberg. Evenals Wegener gaat Gutenberg van de onderstelling uit, dat de maan zich van de aarde heeft losgemaakt; de Grote Oceaan is het litteken in de aardkorst. Het overgebleven deel van de lichte aardkorst dreef uiteen: de Atlantische en Indische Oceanen ontstonden. Fundamenteel verschil met Wegener's voorstelling: Gutenberg neemt een uitzetting, een uit elkaar drijven van de vastelandschilden aan.

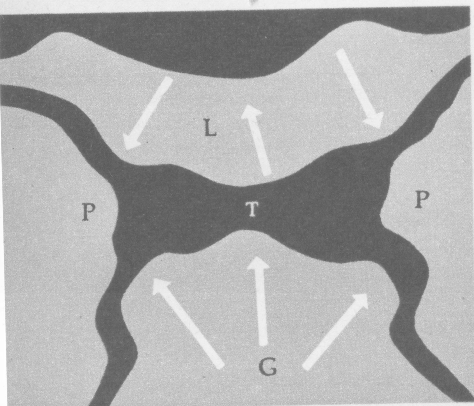
Deze beweging wordt veroorzaakt doordat de lichte sialische schilden er naar streven, zich gelijkmatig over het aardoppervlak te verdelen, terwijl de zware simamassa's zich onder de sialische zone proberen te schuiven.

181—183 · Reconstructies van de wereldkaart volgens Wegener; in het Jonge Carboon, bij het begin van het Tertiair, in het Oude Quartair.

184—186 · Beweging van de continenten volgens Gutenberg: in de Steenkooltijd, in het Eoceen (Tertiair), in het Quartair.
Kringetje: ligging van Midden-Europa.

Theorie van R. Staub. De Zwitserse geoloog Rudolf Staub stelt zich de verschuiving van de continenten heel anders voor dan Wegener en Gutenberg. Volgens hem bestaat de aardkorst uit vier elementen: 1. de Pacifische massa met 2. het vastelandblok Laurasia (het oude vasteland dat Noord-Amerika, Europa en Azië omvatte), 3. het vastelandblok Gondwania en 4. de geosynclinale zone Tethys, waarvan de Middellandse Zee een rest is.

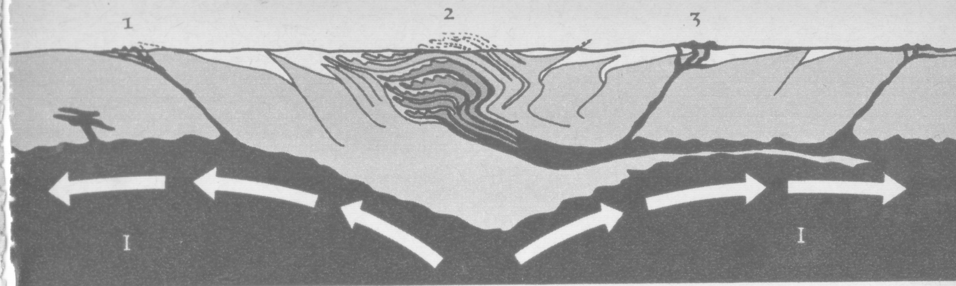
Nadat de maan zich van de aarde gescheiden had stolden de gesmolten massa's snel, en het litteken was de bodem van de Stille Oceaan. Die bood weerstand aan de continentale blokken doordat hij niet samendrukbaar was. Laurasia en Gondwania bewogen zich van de beide polen af naar de equator toe, maar Gondwania drukte het middelste stuk van Laurasia weer naar het Noorden terug. De twee blokken drukten de Tethysruimte samen en de daarop afgezette lagen plooiden zich op tot een bergketen van het alpiene type. Waar de blokken op elkaar gedrukt werden, kwam ook het er onder liggende magma onder druk te staan, het week naar de polen toe uit.



187 · Verschuiving van de continentblokken Laurasia en Gondwania in de Juratijd volgens Staub.
L Laurasia, P Pacifische massa, G Gondwania, T Tethys.

Er ontstonden onderstromingen die de twee continenten weer van elkaar scheidden. In de tussenruimten ontstonden geosynclinalen, inzinkingen in de aardkorst, die het puin van de naburige zones opnamen. Dit proces herhaalde zich in grote cycli.
Men noemt de onderstromingen ook convectiestromen: in de verhitte materiemassa's van de vloeibaar geworden onderkorst geraken stromingen in een roterende beweging. «De onder de continentale massa's opstijgende convectiestromen zijn de oorzaak van het drijven van de continenten. Het blok dijdt uit door deze onderstromen totdat het middenin scheurt. De beide stukken gaan uit elkaar in de richting van de convectiestromen naar de oceanen toe. Tussen hen in ontstaat ruimte voor een nieuwe oceaan. Waar de convectiestromen naar de diepte afdalen, d. w. z. onder de grens van de schilden met de oude oceaan, wordt het randgebied dikker tengevolge van de aanmerkelijke druk, ervoor vormt zich in de oceaan een diepte, erachter ontstaat op het continentale blok een geosynclinaal, een bergketen.» (R. Kettner)

Op grond van deze hypothesen ontwikkelde Arthur Holmes zijn theorie over het ontstaan van een continentverplaatsing door convectiestromingen. Volgens deze is de levensloop van een oorspronkelijk uit één stuk bestaand continentaal blok als volgt: de convectiestromen in de diepte der aarde scheiden het blok in Laurasia en Gondwania. Van de equator af drijven ze naar de polen. Tussen ze in ontstaat de oceaan Tethys. Onder de Tethys keren de convectiestromen om, en Laurasia en Gondwania drijven naar elkaar toe, van de polen naar de equator.



188 · De theorie van R. Staub in een schematische tekening aanschouwelijk gemaakt: Er heeft een samendrukking plaats van de onder de aardkorst aanwezige magmatische massa's. Een bergketen met plooiing als het Alpentype rijst omhoog. De pijlen wijzen de stromingen in de magmatische zone aan.

I magma, 1 vulkanische uitbarsting voor de voet van het gebergte, 2 randgebergte met dekbladen, 3 vulkanische uitbarsting in het achterland.

Zee en vastelanden. Sedert het terugtrekken en verdwijnen van het landijs in Noord-Europa rijst Fennoscandia, in het gebied van de Botnische Golf, maximaal 1 meter per eeuw. Dat is de isostatische reactie van de aardkorst op de bevrijding van de geweldige ijslast.

De landijsmassa's hebben aan de oceanische watervoorraad aanzienlijke hoeveelheden onttrokken. Daardoor is de oceaanspiegel in de diverse ijstijden telkens ongeveer 100 meter gedaald, om bij het smelten weer evenveel te rijzen. Alleen daaruit volgt al, dat de zeespiegel, waarop onze hoogtemetingen berusten, helemaal geen absolute maatstaf vormt.

De verhouding tussen zee en land is ook in historische tijd aldoor weer veranderd. Daar komen de bewegingen in de aardkorst nog bij, die door processen in de diepte veroorzaakt worden.

In de loop van de aardhistorie heeft de zee vaak genoeg delen van de tegenwoordige vastelanden overstroomd. Er zijn tijden geweest, waarin zulke overstromingen zelfs de hele aarde teisterden, en andere, waarin de vastelanden in grote gebieden van de aarde droogvielen. Door rijzen of dalen van de oceaanbodem werd de watervoorraadruimte kleiner of groter.

Bewegingen van de aardkorst. Zijn de grote gebergtevormingen veroorzaakt door processen in de diepte onder hen, of zijn ze van buitenaf, door wederzijdse druk van stijve blokken op de nog plastische stroken teweeggebracht? Zijn de vastelanden en oceanen altijd in dezelfde positie ten opzichte van elkaar geweest, of zijn de schilden op een plastische onderlaag beweeglijk? Waar zit de motor van zulke bewegingen? Zijn er stromingen in de vloeibare diepte, waardoor blokken passief meegesleept worden? Wat veroorzaakt die stromingen? Hoe komt het, dat de grote veranderingen in de structuur van de dicht onder de oppervlakte gelegen gebieden van de aarde zich tot bepaalde perioden beperken, dat er ook in de aardhistorie lange tijden van rustige ontwikkeling zijn die door revolutionaire onrust onderbroken worden? Verschuift de hele aardkorst misschien geleidelijk ten opzichte van de kern en kan dat de eigenaardige geografische verspreiding van oudere ijstijdsporen verklaren? Krimpt het binnenste van de aarde door langzame afkoeling, of is misschien de warmteproductie door radioactieve afbraak zo groot, dat de aarde van binnen warmer wordt? Wij kunnen slechts rekening houden met de bewegingen en materiële verschuivingen die ons in het aardoppervlak toegankelijk zijn. Processen en toestanden in het binnenste van de aarde kunnen wij niet kennen of betrouwbaar verklaren. Onze denkconstructies en hypothesen wagen zich hier in een terrein vrijwel zonder bakens.

189 · I Ontstaan van de vastelandsdrift volgens A. Holmes.

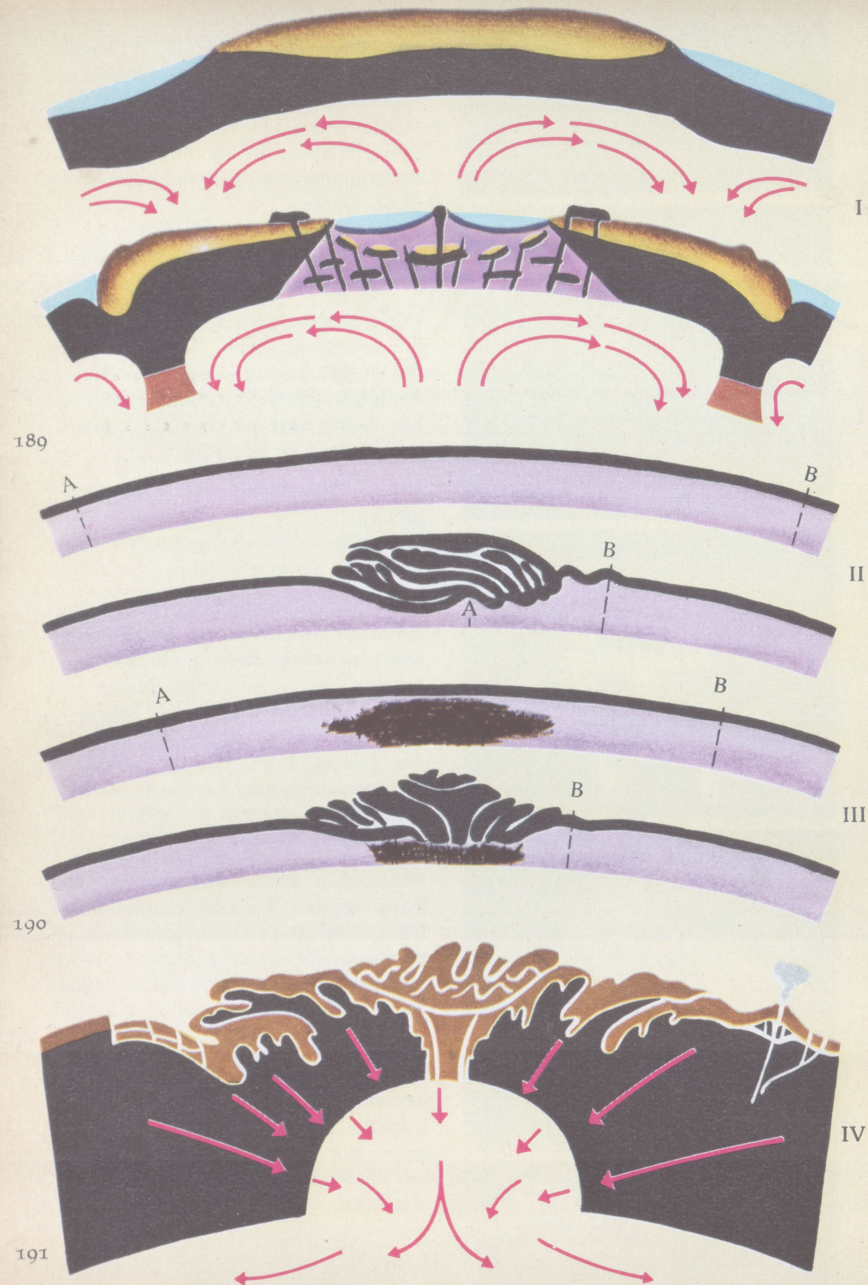
Onder: Het vastelandblok is in twee delen gescheurd. Daartussen ontstaat boven de opstijgende convectiestromingen een nieuwe oceaan. Aan de kanten boven de dalende convectiestromen vormen zich bergketens. Bruin en lichtbruin = vastelandblok, blauw = oceaan, violet = bazaltmagma, zwart = dooreen liggend bazaltgebied, roodbruin = magma.

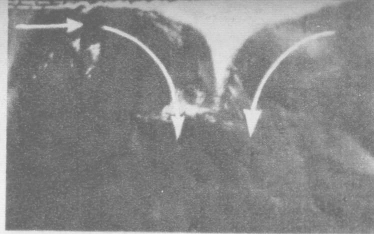
190 · Contractiehypothese en onderstromingtheorie volgens O. Ampferer en W. Hammer:

II Alleen de opperhuid van de aarde wordt in elkaar geschoven door krimping van de aardbol. A en B = de huid van de aarde.

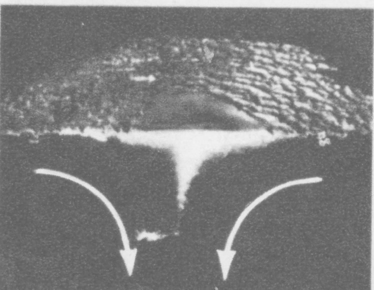
III In de etage van de actieve dieptebeweging verzinkt de ondergrond; *boven:* gebied van de dieptebeweging, *beneden:* massa-inzuiging.

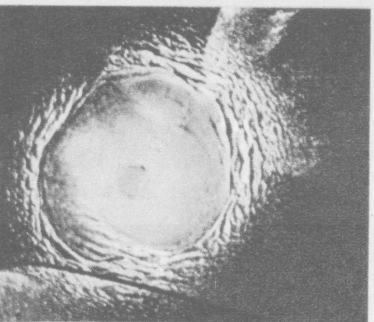
191 · IV Aan twee kanten vergent orogeen volgens E. Kraus.
Vergentie (vergere: overhellen): kantelrichting van voorover leunende plooien. Orogeen: gesloten plooiingsof dekbladgebergte.
Bruin = plooiingen, zwart = kristallijne basis, oudere orogeendelen, jongere kristallijne leisteen. Wit halfrond = wijkende ruimte van het massaverlies. Litteken door wegstroming naar beneden. *Daarboven:* kruin met uitgeschoven littekendeklaag, waaierstructuur en littekensneden. *Rechts:* dooreenliggend voorland met vulkanisme. *Links naast de kruin:* flank met twee gevulde en ondergeschoven diepten. *Daarnaast links:* dooreenliggend voorland.



192 

193 

194 

195 

196 

192—196 · G. SOLLE en H. JEBSEN-MARWEDEL sloegen bij het stilleggen van een grote glasoven kort voor het stollen van het glaslichaam convectiestromen gade, die zij vergeleken met de stroombewegingen van het magma in de diepte.
Kruindoorsnede op alle foto's 20—25 cm. Alle foto's zijn na het afkoelen van het glas gemaakt.

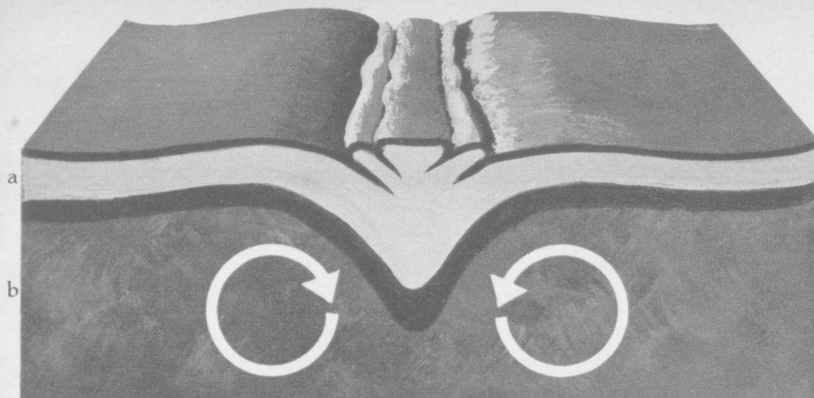
192 · Stroomspoor in het glaslichaam in dwarsdoorsnede. Dat de kruin boven het overige oppervlak ligt is duidelijk zichtbaar, ook het begin van het weder smelten van de kristallisatiekiemen in de diepte.

193 · Gedeeltelijke vergroting van afb. 192.
Hoe dichter bij het stroomspoor, hoe steiler de stroomrichting.

194 · Dwarsdoorsnede van het stroomspoor en oppervlak van de geplooide korst na gehele stolling van het glaslichaam. Wonderbaarlijk is de met de natuurlijke processen overeenkomende vlakke plaats in het midden. Die ligt hoger dan de omgeving; ondanks de ligging boven de sterkste neerwaartse stroming blijft hij ongeplooid.

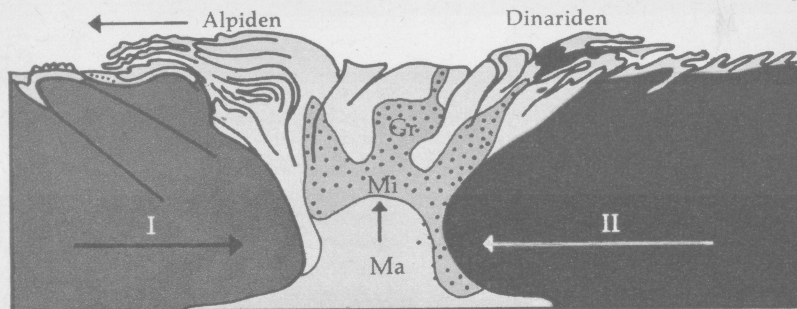
195 · Een ander stroomspoor van boven gezien. De hier minder stijve kruinstreek is zwak mee geplooid, de plooiing van de aangrenzende delen van de korst naar het stroomspoor toe is door onderstroming geringer dan bij *afb. 192—194*.

196 · Vergroot detail: de naar buiten gerichte plooien van de korst. Rechts beneden door kristalkiemen zichtbaar geworden afloop van de stroom naar het stroomspoor, juist als op *afb. 192—194*.



197 · Sterk geschematiseerd model van de aardkorst volgens Griggs en Holmes. Convectiestromingen in de plastische zones van het inwendige der aarde als oorzaak van gebergtevorming.
a = plastische korst, b = vloeibare ondergrond.

198 · Schematische doorsnede door de Oost-Alpen volgens de theorie van L. Kober.
I Europa, II Afrika, Gr graniet, Mi migmatiet (gesteenten, waarin duidelijk de aandelen van ouder gesteente en van een nieuw toegevoegd graniet te onderscheiden zijn), Ma magma.
Links boven: Alpiden — *rechts boven*: Dinariden (twee bergketens uit de Alpidische era).
Midden van beneden naar boven: magma, migmatiet en graniet, «Pas de in C. AMPFERER geboren en in 1906 door hem tegenover de contractietheorie geplaatste, eigenaardige gedachte van de ‹inslikkingszones› borg een nieuw mechanisch begrijpen als mogelijkheid in zich: onderschuivingen naar beneden hebben, zoals L. KOBER uiteenzette, de grote orogenen met hun randstammen geschapen.» (E. Kraus)



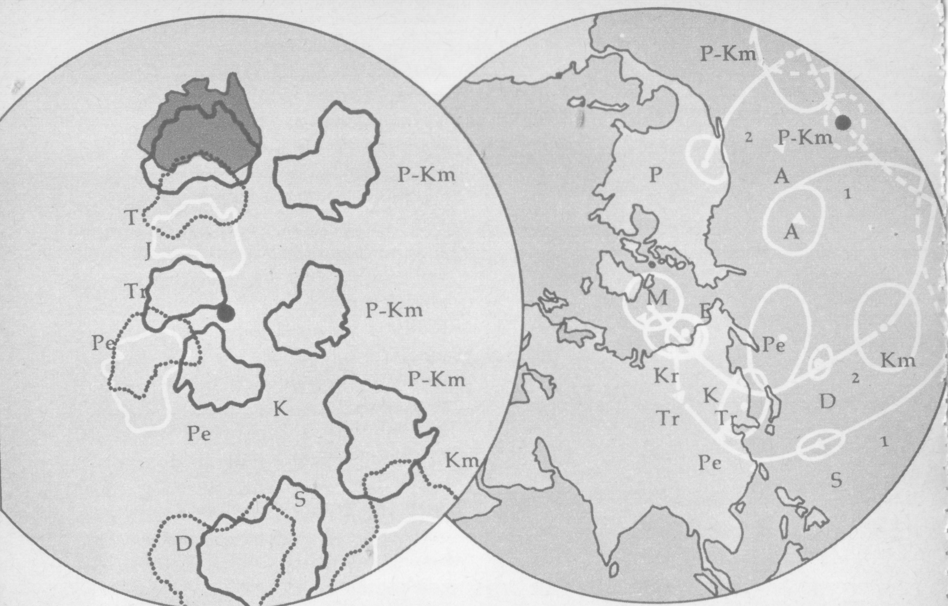


199 · Zandsteen uit het Trias in het Coloradodal bij Moab in Utah (USA). Het onderzoek van de magnetiseringsrichting van gesteenten heeft bewezen dat ligging en oriëntering van aardedelen naar de magnetische en daarmee naar de geografische pool in de loop der tijden veranderd zijn.
Door de wind getransporteerd zand, dat al lang zandsteen geworden is, verraadt door zijn ligging in scheve lagen de toenmalige windrichting. «Door een beweging van de rotatieas der aarde ten opzichte van de landmassa's zullen andere streken binnen het bereik van de passaten verlegd worden. Inderdaad kunnen zandduinen en eolische zandsteen gebruikt worden voor het bepalen van de richting van tegenwoordige en vroegere passaten.» (N. D. Opdyke en S. K. Runcorn)

Fossiele magneten. Niet alleen planten en dieren uit vervlogen aardperioden kunnen verstenen, maar ook het aardmagnetisme. Er bestaat een fossiel magnetisme, dat de ligging van de magnetische polen in vroegere eonen — ze verschuiven nu nog — vastgehouden heeft.

IJzeroxyden worden alleen bij hoge temperaturen gemagnetiseerd en behouden dus onder normale omstandigheden hun magnetisme. Ze komen met het vloeibare magma naar boven en doorlopen terwijl de lavamassa's stollen een bepaalde temperatuur, die aan het aardmagnetische veld «een unieke gelegenheid geeft», ze te beïnvloeden. «Op deze wijze is het juist ten tijde van de magmastolling heersende magnetische veld gefixeerd — voor onbeperkte tijd ... Men behoeft dus slechts de richting waarin dit stenen kompas wijst te meten om gegevens omtrent het bij de stolling van het gesteente heersende magnetische veld te krijgen ... De eruptiegesteenten worden in de loop van de aardhistorie op vele manieren door wind, regen en verwering vernield. Een deel van hun mineralengehalte gaat onveranderd — getransporteerd door bewegend water — in de sedimentgesteenten over ... De millimeters of delen van millimeters grote magnetietkorreltjes schommelen tijdens de afzetting door water en wind zo lang tot hun magnetische as zich naar de dan bestaande magnetische pool gericht heeft. Zo geven zij een afbeelding van het toen heersende magnetische veld. Zodra de sedimenten verouderen, bedekt raken met nieuwe lagen en verstenen, wordt de ligging van de afzonderlijke korrels gefixeerd en daarmee is het aardmagnetische veld uit de ontstaanstijd der sedimenten ‹geconserveerd›.» (H. Steinert)

Ook voor het verleden van de aarde kan men erop rekenen, dat de ligging van de magnetische polen die van de geografische aanwijst. De fossiele kompassen geven dus een beeld van aanmerkelijke poolverplaatsingen in de loop van de aardhistorie.



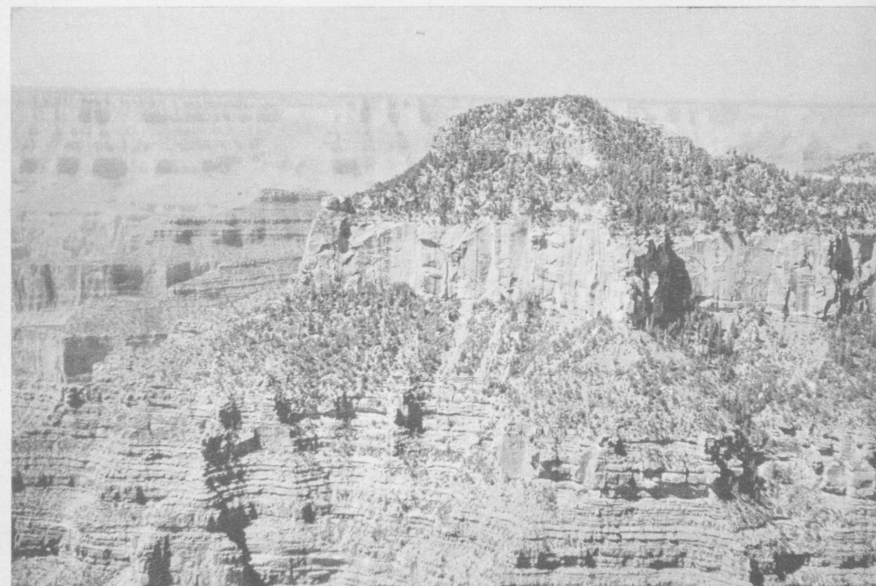
200 · *Links:* Ligging van Australië t. o. v. de Zuidpool gedurende verschillende geologische perioden. De donkere vlakte duidt de tegenwoordige ligging van Australië aan. *Rechts:* Kurven van poolverplaatsing voor Noord-Amerika en Europa. Dunne lijnen (1) duiden de beweging van de pool aan, die uit vondsten in Amerika afgeleid werd. De met (2) aangeduide lijnen geven de poolbeweging aan zoals die op grond van vondsten in Groot-Brittannië moet zijn geweest, stippellijnen de poolbaan op het andere halfrond.
A Algonkium, D Devoon, E Eoceen, J Jura, K Carboon, Km Cambrium, Kr Krijt, M Mioceen, P Precambrium, Pe Perm, P-Km Precambrium tot Cambrium, S Siluur, T Tertiair, Tr Trias.

201 · Formaties in de Grand Canyon met blijvend-gemagnetiseerd gesteente. ▷

Magnetiseringsrichting van rode zandsteensoorten. In verschillende formaties is het ijzer in de mechanisch uiteengevallen verweringskorsten blijven zitten. In die ‹rode-zandsteenformaties›, die in alle perioden te vinden zijn, kan men de verplaatsing van de pool duidelijk volgen. Na vele duizenden metingen heeft Runcorn de volgende lijst opgesteld (de gegevens over de ouderdom zijn volgens de laatste inzichten bijgewerkt):

Tabel van de magnetiseringsrichting van rode-zandsteen.

Geologische periode	Ouderdom in miljoenen jaren	Ligging van de magnetische polen
Precambrium	Ca. 1.000	N: Stille Oceaan 130° WL, 0° NB Z: Bij Abessinië 50° OL, 0° NB
Cambrium	600	N: Marshalleilanden 170° OL, 15° ZB
Siluur	500	N: Noord-Honsjoe (Japan) 140° OL, 40° NB Z: Zuiden Atl. Oceaan 40° WL, 40° ZB
Devoon	400	N: Bij Kamsjatka 155° OL, 45° NB Z: Zuiden Atl. Oceaan 25° WL, 45° ZB
Perm	270	N: Bij Kamsjatka 155° OL, 45° NB Z: Zuiden Atl. Oceaan 25° WL, 45° ZB
Tertiair (Eoceen)	60	N: Nieuw-Siberische eil. 133° OL, 76° NB Z: Antarctica 47° WL, 76° ZB



1 2 3 4 5 6

XVI

HET BINNENSTE VAN DE AARDE

De aarde opgebouwd uit concentrische schillen. Wie naar het middelpunt van de aarde wil reizen moet ongeveer 6400 km afleggen. Seismologen, geofysici, geologen, astrofysici en geochemici zijn in de geest naar dit doel vertrokken. De seismoloog kon enig inzicht in het binnenste van de aarde verwerven. Maar wat het vaststellen van de aard der materie betreft, lieten zijn methoden hem in de steek. De geofysici en geochemici namen zijn plaats in.

Door de observatie van aardbevingsgolven werden verschillende zonegrenzen binnen de aarde vastgesteld, waar de elasticiteit van de stof plotseling verandert — de discontinuïteitvlakken, op 10 tot 35 km diepte de Mohorovicic-discontinuïteit *(verg. blz. 160)*. Het meest valt in 't oog het grensvlak dat op 2.900 km diepte een gasvormig-vloeibare aardkern van een vaste mantel lijkt te scheiden. Ook binnen de aardkern, op 5.120 km diepte, treedt discontinuïteit op.

202 · Bouw van de aarde: 1 binnenste kern: doorsn. 1.300 km, voortplantingssnelheid der aardbevingsgolven: 11.3 km/sec. — 2 buitenste kern: doorsnee 2.200 km, voortplantingssnelheid 8.1—13.6 km/sec. — 3 binnenste mantel: doorsnee 2.500 km, voortplantingssnelheid als in 2. — 4 buitenste mantel: doorsnee 400 km. — 5 aardkorst: doorsnee 10 tot 90 km. — 6 dampkring.

Temperatuur, dichtheid, zure en basische gesteenten. Onze kennis van de toestanden in het binnenste der aarde, van de oorzaken der sprongsgewijs optredende discontinuïteit, is zeer gering.

Bekend is het soortelijk gewicht van de gehele aarde: 5.5, en van de buitenste aardkorst: ongeveer 3. De dichtheid is binnenin dus groter dan in de korst.

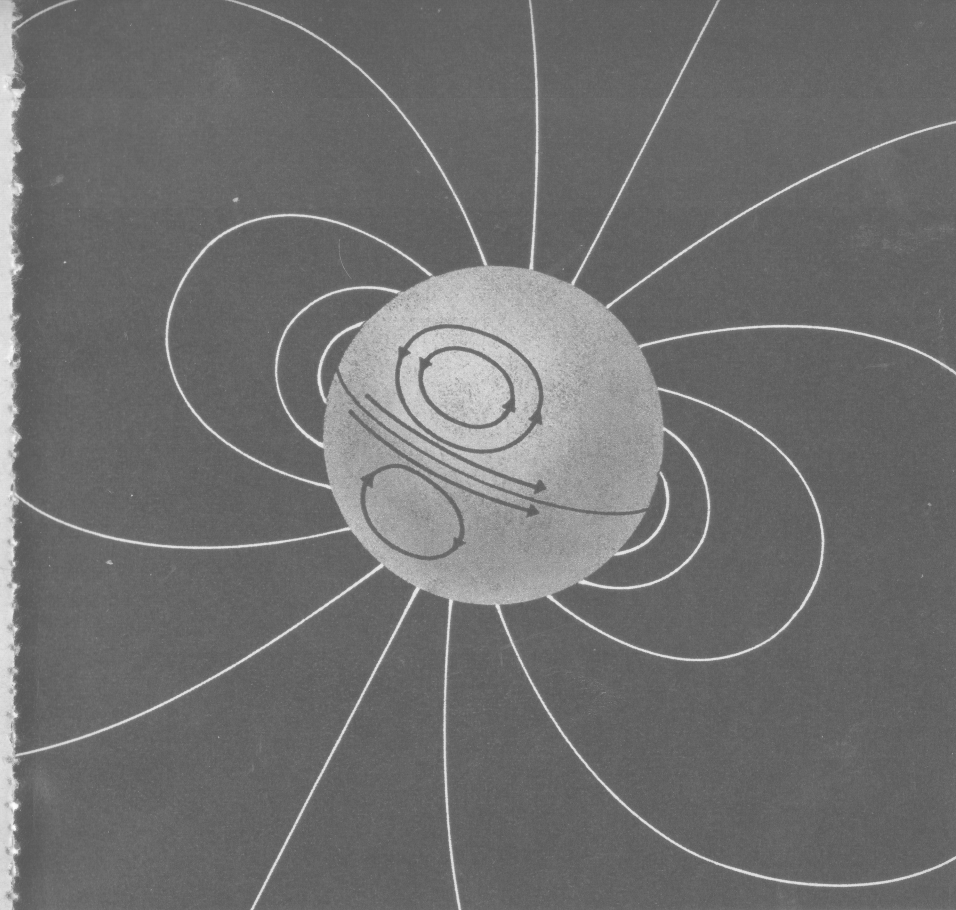
Bekend is dat de temperatuur met de diepte stijgt. Als geothermische dieptetrap nl. het aantal meters dat men dieper dalen moet om een temperatuurverhoging van 1° C. te constateren, werd in Europa gemiddeld 30 tot 50 m vastgesteld. Bij boringen — er is tot dusver tot 8 km diepte geboord — bleek dat de geothermische dieptetrap bij dieper doordringen weliswaar in het algemeen afneemt, maar in sommige gevallen toeneemt. Er bestaan aanzienlijke verschillen tussen de geothermische dieptetrappen van de continenten en delen daarvan, b. v. Noord-Afrika 23.5 m, Zuid-Afrika 90 m. Zeer waarschijnlijk heersen er op een paar duizend km diepte temperaturen waarbij de materie der aarde zou verdampen als de erop uitgeoefende druk opgeheven werd.

Waarschijnlijk is ook, dat de buitenste aardkorst uit zure gesteenten (kiezelzuurgehalte tot 82%), uit sial, bestaat, de binnenste aardkorst uit basische gesteenten (kiezelzuurgehalte ongeveer 40%), uit sima. Niet meer dan een waarschijnlijkheid is het, dat er onder de sima een laag van nog sterker basische gesteenten en metalliek ijzer zit.

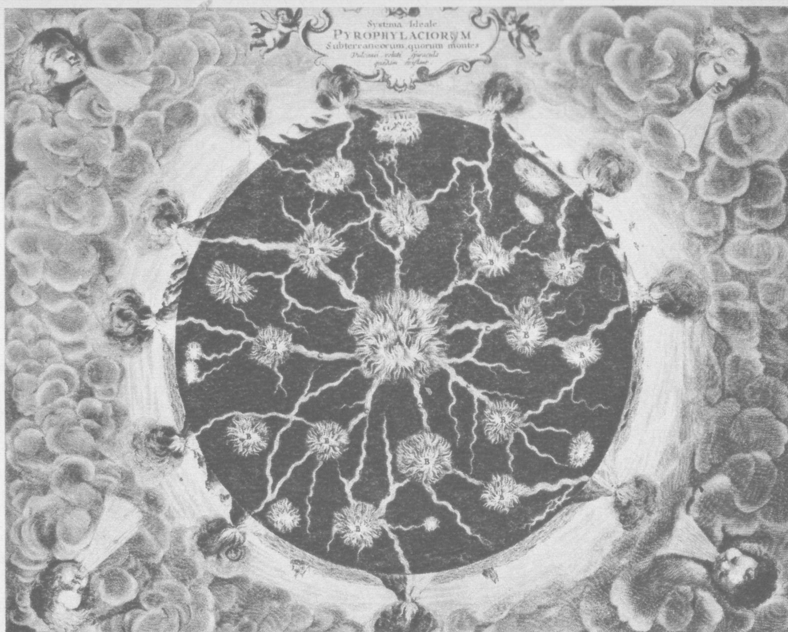
Hypothesen over het binnenste der aarde. Daar onze kennis van het binnenste der aarde nog zeer beperkt is, hebben de geleerden vele hypothesen daaromtrent opgesteld:

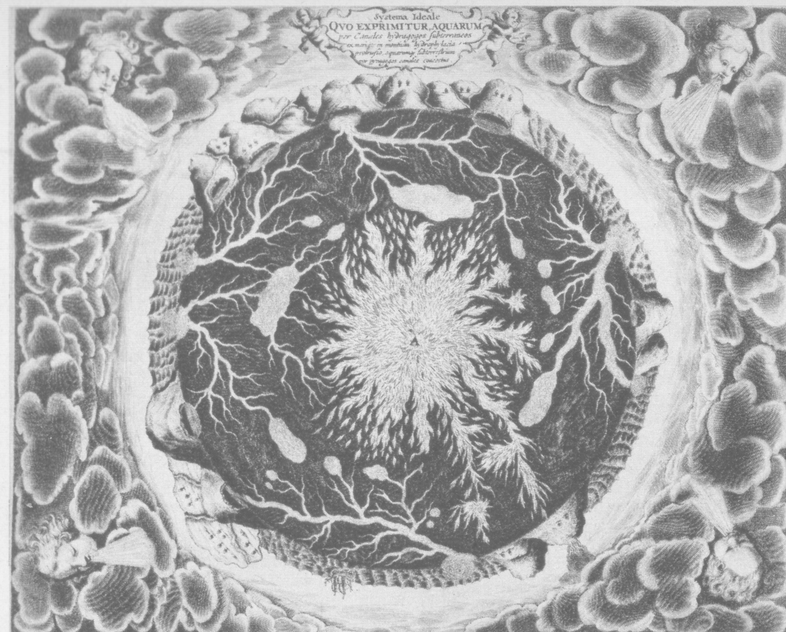
De aardkern is enige malen stijver dan staal. (Schweydar)
De aardkern bestaat uit gas. Het staat onder een druk van maximaal 5 miljoen atmosferen. De gaskern is zo stijf als staal. (Kelvon)
Het binnenste van de aarde is taaivloeibaar. De kern is metalliek. (Clarke)
Tussen een vaste metallieke aardkern van 10.000 km doorsnee en de vaste steenmantel ligt een plastische tussenzone. De tussenlagen zijn geleidelijke overgangen van de zonnematerie van vast via vloeibaar tot gasvormig. (Kuhn en Rittmann)
Tot 65 km diepte is de aarde vast, kristallijn; van 100 km tot 1.200 km vloeibaar; van 2.179 tot 6.370 km gasvorming maar vast. (F. v. Wolff)
De gehele aarde bestaat uit olivien. Op 2.900 km diepte bij 1.4 miljoen atmosferen druk nemen de niet-metallieke stoffen een metalliek karakter aan. (Ramsay)
De aardkern bestaat uit nikkelhoudend ijzer zoals de ijzermeteorieten. Het buitenste deel van de aardkern gedraagt zich als vloeibaar, daar transversale golven aan de grens ervan verdwijnen. Van 5.000 km af is de kern misschien weer vast, ondanks de hoge temperaturen van een paar duizend graden. (M. Weibel)

Bij toenemende druk, te beginnen bij 1.000 km diepte, verandert de structuur van de electronenschil der elementen. Daardoor veranderen ook de chemische eigenschappen van de stoffen. Op grotere diepte volgt een ‹zone van ontaarde chemismen›. Aan de grens van de aardkern op 2.900 km diepte bij een druk van 1,4 miljoen atmosferen zijn de periodieke eigenschappen van de elementen verdwenen. Alle atoomkernen zijn omgeven door een homogeen electronenplasma. Waterstof en silicium zijn hier evenzeer ‹metalen› als ijzer en natrium. (A. F. Kapustinsky)



203 · Loop van magnetische krachtlijnen. Het magnetische veld van de aarde ontstaat grotendeels door electrische stromen, die op hun beurt ontstaan door materiestromingen dicht onder de oppervlakte van de aardkern. Het aandeel van magnetische mineralen in de korst is gering. Sterke wervelingen in de ionosfeer veroorzaken de dagelijkse magnetische schommelingen.





Kircher's imaginair systeem van de diepte. De Duitse geleerde Athanasius Kircher schiep in de 17e eeuw een ‹imaginair systeem› van de diepte en de aardkern. Hij was jezuïet, hoogleraar in de wiskunde en de filosofie, het Hebreeuws en het Syrisch. Kircher bestudeerde de hiëroglyfen en verbeterde de toverlantaarn.
Waren zijn voorstellingen van het binnenste der aarde, zoals hij ze b. v. in afb. 204 en 205 met de daarbij behorende toelichtingen neergelegd heeft, zoveel fantastischer dan de onze?

Hoe kunnen wij de natuurwetenschappelijk ‹gefundeerde› scheppingsmythe van onze tijd begrijpen, volgens welke alle sterren met zon en aarde en alle verre melkwegen op hetzelfde ogenblik geschapen zijn? Wie kan zich de afgronden van tijd voorstellen, de 5 miljard jaren waarin onze planeet was en werd, en waarin steeds weer in waarlijk revolutionaire momenten grote bergketens ontstonden en gestalte gaven aan het oppervlak? De tijdsduur van de rotatie der convectiestromen blijft ons vreemd, want ze bewegen in de loop van duizend jaar slechts een gedeelte van een centimeter. Is de aarde werkelijk eens gloeiend vloeibaar geweest, of is ze ‹koud› uit gas en stof gevormd? Is onze kernfysische tijdmeting werkelijk absoluut? Dijdt de

kosmos uit? — Dat is tot nog toe niet bewezen en dus is het ook niet zeker dat de wereld, het zonnestelsel, een begin en een ouderdom kunnen hebben.
Om al deze redenen en denkende aan onze eigen hypothesen en vaak zeer zwak gefundeerde theorieën, valt er niet te glimlachen om de voorstellingen van Kircher.
Kort samengevatte originele toelichting van Kircher bij zijn platen:

204 · «Imaginair systeem van onderaardse gangen, welker bergen, vulkanen en luchtgaten ongeveer zo bestaan. De vulkanen worden als een bewijs beschouwd dat er in de kern van de aarde vuur is, dat langs onderaardse wegen naar de oppervlakte komt en daar uitbarstingen veroorzaakt.

Het centrale vuur wordt door de letter A aangeduid. Met B worden aangeduid de weinige pijpen van aardspleten waardoor vurige dampen naar buiten stromen.»

205 · «Een imaginair systeem van de wateren, dat voorstelt, hoe in de door het water uitgeholde bergkloven het uit zee afkomstige water samenkookt met het in de kanalen van onderaards water aanwezige vuur.»

Het aanboren van de aardmantel. In het IGY werd een vermetel plan opgevat. Men wil boren door de aardkorst heen tot aan de aardmantel. Het initiatief om tot de moho toe te boren ontstond uit een voorstel dat H. Hess en W. Munk in 1957 aan de American Miscellaneous Society (AMSOC) voorgelegd hebben.

In 1961 werden aan de westkust van Mexico, bij het eiland Guadalupe in de Stille Oceaan dicht bij elkaar drie proefboringen gedaan, 74 km van het eiland en 220 km van het vasteland. De diepte van het water was 3.760 m.

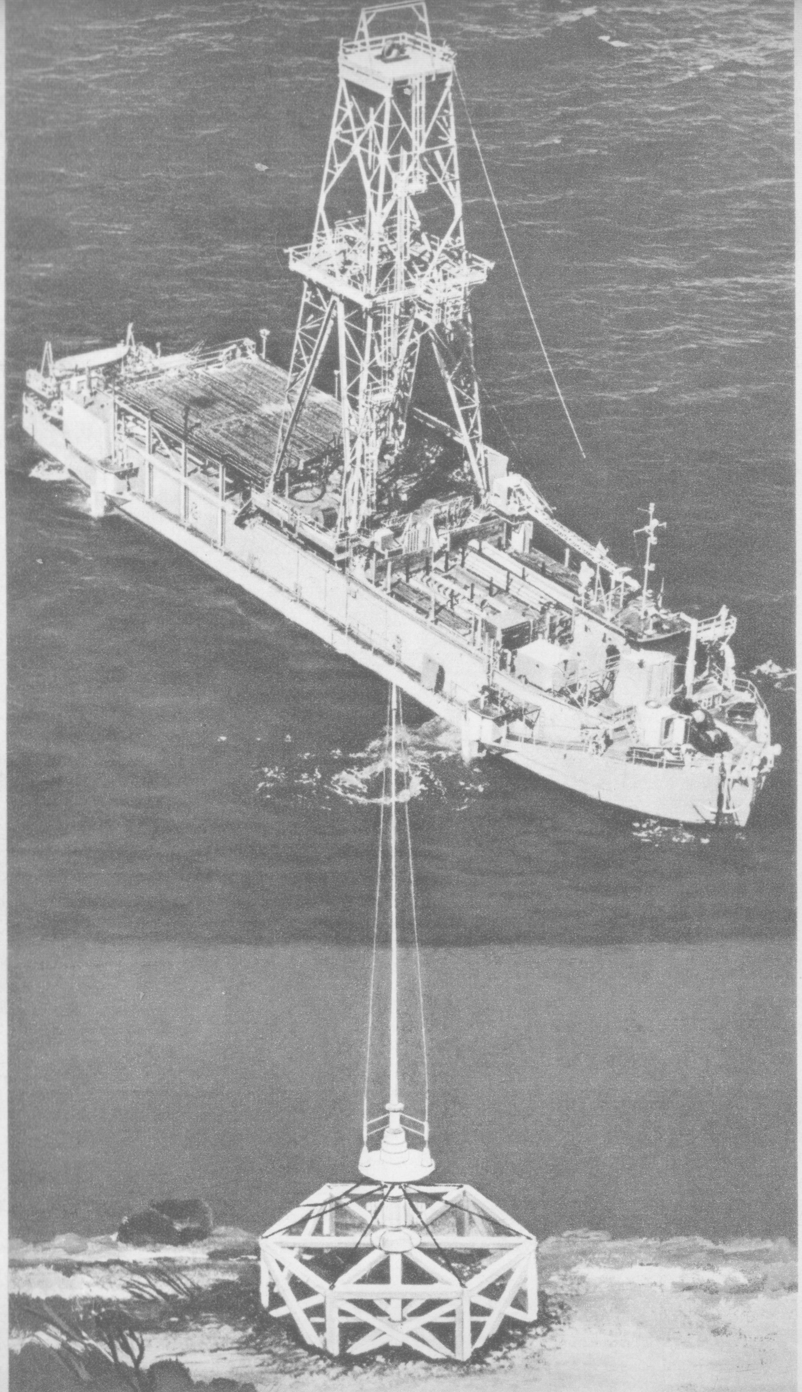
Met dit vermetelste experiment van de geologie moest het Mohorovicic-grensvlak bereikt worden, de buitengrens dus van de aardmantel. Op de vastelanden ligt de moho ongeveer 35 km onder het aardoppervlak. Maar onder bepaalde oceanen ligt dit grensvlak tussen gesteentelagen slechts 5 km onder de bodem van de zee.

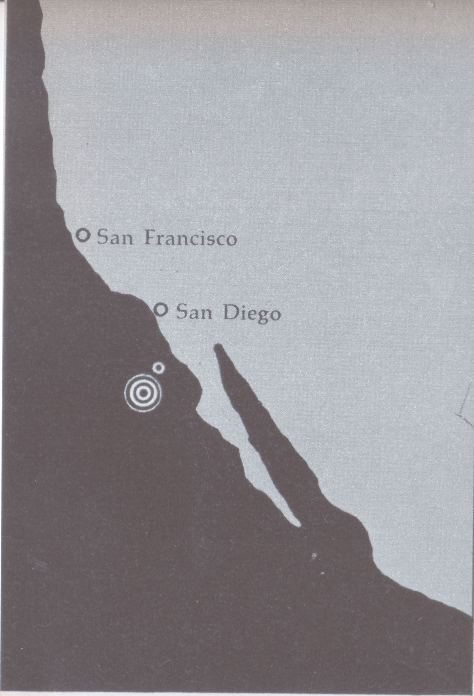
Men hoopte door de boring materiemonsters van de gehele sedimentlaag van de zee onder de boorplaats te krijgen en tenslotte ook steenmonsters van de aardmantel zelf. Misschien zal men eens de aardmantel tot een diepte van 10 km en meer kunnen aanboren. Op die manier zou het onderzoek het probleem van een mogelijke uitdijing der aarde kunnen benaderen, die door de ontdekking van het spletensystem der aarde niet onwaarschijnlijk is geworden.

Na de proefboringen werden de eerste resultaten bekend: de sedimenten zijn 180 m dik en er ligt bazalt onder. De vulkaankegel van Guadalupe, 74 km van de boorplaats verwijderd, bestaat eveneens uit bazalt. In het Tertiair, lang voor het Mioceen, bedekte de zee de boorplaats. Het is niet aannemelijk dat er alleen in het Mioceen sedimenten werden afgezet. Er kunnen onder de bazaltlaag nog meer sedimentlagen liggen. Het is te verwachten dat het grootste deel van het materiaal tussen de moho en de zeebodem uit sedimenten met daarin liggend bazalt bestaat. Algemeen schat men de totale duur van het Mioceen op 14 miljoen jaar. Maar de doorboorde sedimenten duiden op een kortere tijdsduur. Als men aanneemt dat ze in de loop van 5 miljoen jaar afgezet zijn, dan bedraagt de afzettingssnelheid 4 cm/1.000 jaar.

206 · Onderzoekschip ‹Cuss I› van de US Navy met boortoren. Vier problemen deden zich voor bij het plan, de aardkorst tot aan de moho te doorboren.

Hoe kan men een schip verbouwen zodanig dat het als platform voor een boortoren kan dienen? Hoe kan men een schip midden in de oceaan binnen een cirkel van 200 m vasthouden? Hoe kan men 10 km boorbuis op zee hanteren, en hoe onder de waterspiegel een gat boren, dieper dan welk ander ook op het land? Hoe kan men de stang weer in het gat steken nadat hij er uit getrokken is om de beitel te vernieuwen?
Al deze problemen konden opgelost worden door de verbouwing van het vrachtschip ‹Cuss I›. Het is 79 m lang, 15 m breed en kreeg een toren te dragen van 30 m hoogte, waar van uit een gat midden door het schip geboord werd.





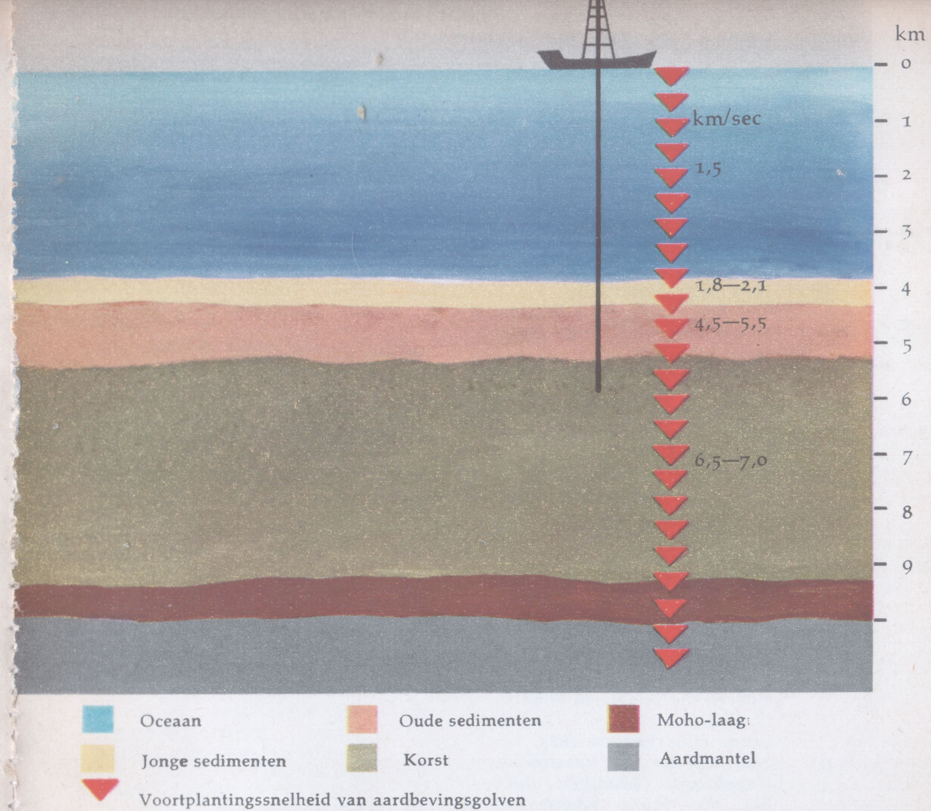
Eiland Guadalupe
Plaats van de proefboring in april 1961

207 · De geografische ligging van de proefboringen voor het mohoplan bij het eiland Guadalupe aan de westkust van Mexico. De ringen wijzen de boorinstallatie ‹Guadalupe-site› aan.

Uitzicht. Bij het oprukken naar de diepte der aarde was men uitgegaan van de overweging dat het minder moeite zou kosten, 5 km door de zeebodem te boren dan 35 km door het vasteland. Er werd van deze theoretische onderstelling uitgegaan en reeds de eerste poging gelukte.

Na het succes van de proefboring gaan de problemen van de toekomst zich aftekenen: de grootte en vermetelheid van het plan om de aardmantel aan te boren staan duidelijk voor ons *(verg. blz. 160)*.

Sir Edward Bullard, docent in de geofysica aan de universiteit van Cambridge, bevond zich gedurende de proefboring op het schip. «De geordende chaos» berichtte hij, «die ik daar zag, maakte diepe indruk op me, niet alleen als wetenschappelijk project, maar als gemeenschapswerk van zo verschillende mensen als matrozen, boorders, oceanografen en ingenieurs — om er maar een paar te noemen.»
Dit soort samenwerking, dit kameraadschappelijke samengaan zonder sociaal onderscheid had ook zijn stempel gezet op de werkwijze in het Internationale Geofysische Jaar 1957/1958 en de Internationale Coöperatie 1959.
Daarin werd een nieuwe vorm van wetenschappelijk onderzoek duidelijk, zoals nog nooit in de praktijk op de proef gesteld was.
Het onderzoek van de aarde in het IGY en IGC had drie hoogtepunten: het opstijgen tot in de hoogste lagen van de dampkring, het doordringen in Antarctica, het binnendringen in de diepte der aarde.
De moho-laag is bereikt — en toch is de aardbol slechts als met een naald licht gekrabd. En toch is het project van enorme draagwijdte. Het brengt geheel nieuwe trekken in het aangezicht van onze planeet aan het licht.
Reeds met de ons nu ter beschikking staande technische mogelijkheden, met onderzoekschepen als de ‹Cuss I› kunnen — nog voordat de moho zelf aangeboord wordt — in de gesteen-



208 · De bouw van de aardkorst in het gebied tussen de eilanden Guadalupe en Clipperton.

ten onder de bodem der wereldzeeën boringen tot 300 m diepte gedaan worden. «Dat opent de mogelijkheid», zo formuleert Sir Edward Bullard het, «de sedimenten en lava's tot op die diepte nauwkeurig te bestuderen en de geschiedenis van de oceanen over lange tijd na te speuren, zoals het ook op het land gedaan is. Dat zou binnen enkele jaren tot de oplossing van enkele hoofdproblemen van de geologie kunnen leiden. Men zal zonder twijfel kunnen vaststellen, of de vastelandmassa's die men voor de kust van vele continenten aanneemt, in de tegenwoordige oceanen verzonken zijn. Het moet ook mogelijk zijn, de ouderdom van ieder oceaanbekken te bepalen en op grond van de afwisselende sedimentatie vroegere veranderingen in de verdeling van land en zee en misschien ook in klimaat en zeestromingen te onderzoeken.»

LIJST VAN AFBEELDINGEN EN BRONNEN

Afkortingen: *Umschau:* Die Umschau in Wissenschaft und Technik. Umschau Verlag, Frankfurt am Main. *Orion:* Orion. Sebastian Lux Verlag, Murnau (Oberbayern). *Kosmos:* Kosmos. Franckh'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart. — De grafische vormgeving van de tekeningen en natekeningen afb. 9, 28, 31, 42, 43, 51, 54, 61—64, 69, 85, 90, 94, 97, 106, 108—112, 119, 120, 123, 124, 128, 153 en 203 zijn van Peter Straub.

Frontispice Naar Westerhout, G.: Endeavour. London 1959. Nr. 71.
1 Foto: Zentrale Farbbild Agentur GmbH, Heidelberg.
2 Uit Pantenburg, V., Wetterfunker um den Pol: Orion 1959, blz. 470.
3 Naar Grothe, W., Zur Vorgeschichte des Geophysikalischen Jahres. 1. *Die Internationalen Polarjahre:* Kosmos 1957, afl. 8, blz. 394.
4 Naar idem 2. *Die sieben Holländer auf Jan Mayen:* Kosmos 1957, afl. 9, blz. 430.
5—6 Uit Greely, A. W., Three Years of Arctic Service — an Account of the Lady Franklin Bay Expedition of 1881—84. Deel II. London 1886. blz. 84. Richard Bentley and Son.
7 Uit Thomson, C. Wyville e. a., Report on the Scientific Results of the Voyage of H. M. S. Challenger 1873—76. Deel I, eerste stuk. London 1885.
8 Naar Büdeler, W., Vorstoß ins Unbekannte. München 1960. Blz. 78. Franz Ehrenwirth Verlag.
10 Naar Leprince-Ringuet, L.: Bronowski, J., Die Welt der Chemie, Physik und Astronomie. Stuttgart 1962. Blz. 96. Chr. Belser Verlag.
11 Naar Powell, C. F., Die Entstehung der kosmischen Strahlungsteilchen hoher Energie: Naturwissenschaftliche Rundschau. Stuttgart 1959. Afl. 12, blz. 447. Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft.
12 als 11, blz. 448.
13—15 Foto: Gesellschaft für kulturelle Beziehungen mit der UdSSR, London, en US-Informatiedienst, London.
16—21 Uit Brüche, E., Der Irrgarten fliegender Geschosse im Weltraum: Orion 1959, blz. 78—82.
22 Uit Lane, F. W., Wenn die Elemente wüten. Zürich 1952. Blz. 160. Orell Füssli Verlag.
23 Naar Hoppe, J., Neues von den Meteoren: Umschau 1957, afl. 9, blz. 263.
24 Uit Pettersson, H., Der große Meteorschauer vom 13. 11. 1833: Endeavour. London 1960. Nr. 75.
25 Naar Braunbek, W., Die Wellenidee in der Physik: Kosmos 1956, afl. 9, blz. 437.
26 als 10, blz. 208.
27 Naar Goldschmidt, Rankama, Brown: Brinkmann, R., Abriß der Geologie I, blz. 247. Stuttgart 1959—61. Ferdinand Enke Verlag.
29 Foto: H. Friedmann, Marineforschungsamt, Washington.
30 Uit Bruzek, A., Sonnenüberwachung: Umschau 1958, afl. 3, blz. 79.
32 Uit Kiepenheuer, K. O., Die Sonne. Berlin—Göttingen—Heidelberg 1957, blz. 4. Springer Verlag.
33 Foto: W. O. Roberts: als 32, blz. 110.
34 Uit Bruzek, A., Die Überwindung der Erdatmosphäre: Umschau 1959, afl. 6, blz. 181.
35 Naar Petri, W.: Naturwissenschaftliche Rundschau. Stuttgart 1961, afl. 14, blz. 92. Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft.
36 als 30.
37 Foto: Fraunhofer-Institut Freiburg, Außenstelle Anacapri: als 32, blz. 104.
38—39 Uit Bruzek, A., Die Radiowellenstrahlung der Sonne: Umschau 1959, afl. 20, blz. 620.
40 als 32, blz. 62.
41 Foto: van Biesbroeck, als 32, blz. 60.
44 Naar Möller, F., Die Strahlungsgürtel im Außenraum der Erde: Kosmos 1959, afl. 10.
45—46 Foto: P. Popper Ltd., London.
47 Foto: G. Lange-Hesse, Max-Planck-Institut für Aeronomie, Lindau über Northeim.
48 Uit Rabe, W., Das Zodiakallicht: Orion 1955, blz. 249.
49—50 Uit Aschenbrand, M., Projekt Leuchtkäfer: Umschau 1958, afl. 13, blz. 390.
52—53 Foto: USIS Photo Unit, Bad Godesberg.
55 Naar Heß, P.: Orion 1954, afl. 3/4.
56 Naar Ulrich, K. O., Gefahrenzonen für den Luftverkehr: Umschau 1954, afl. 19, blz. 577.
57 als 8, blz. 14.
59 Naar Löbsack, T., Der Atem der Erde. München 1957. Blz. 116. Biederstein Verlag.
60 Naar Schwarzbach, M., Das Klima der Vorzeit. Stuttgart 1961. Blz. 10. Ferdinand Enke Verlag.
65 Foto: R. A. F. The Air Ministry, London: Lane, F. W., Wenn die Elemente wüten. Zürich 1952. Blz. 17. Orell Füssli Verlag.
66 Foto: P. Popper Ltd., London.
67 als 22, blz. 32.
68 als 52.
70 Naar Israel, H., Luftelektrizität und Wetter: Umschau 1957, afl. 11, blz. 337.
71 Naar Brinkmann, R., Abriß der Geologie. I. Stuttgart 1959—61. Blz. 31. Ferdinand Enke Verlag.
72 Naar Kettner, R., Allgemeine Geologie. III. Berlin 1959. Blz. 50. VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften.
73 als 72, blz. 64.
74 als 72, blz. 69.
75—76 als 72, blz. 163.
77 als 72, blz. 282.
78 als 72, blz. 129.
79 Foto: Archiv des Landesverkehrsverbandes Rheinland-Pfalz.
80 als 52.
81 Uit Gripp, K.: Natur und Volk. Frankfurt 1960. Afl. 2, blz. 52. Senckenbergische Naturforschende Gesellschaft.
82 Uit Schwarzbach, M., Geologie in Bildern. Wittlich 1954. Georg Fischer Verlag.
83a Naar Huxley, Sir Julian, The Story of Evolution. London 1958.
83b als 1.
84 als 52.
86 Uit Pantenburg, V., Die Arktis der Gegenwart: Orion 1957, blz. 192.
87 als 71, blz. 39.
88 als 72, blz. 332.
89 Foto: Bradford Washburn, Boston.
91 als 8, blz. 307.
92 als 52.
93 Naar Hoinkes, H., Die Antarktis und die geophysikalische Erforschung der Erde: Die Naturwissenschaften. Berlin—Göttingen—Heidelberg 1961. Blz. 356. Springer Verlag.
95 als 72, blz. 393.
96 Naar Beringer-Murawski, Geologisches Wörterbuch. Stuttgart 1957. Blz. 81. Ferdinand Enke Verlag.
98 Naar een ontwerp van G. Tomczak: Umschau 1961, blz. 501.
99 Naar Bielert, W., Tiefste Tiefe erreicht: Die Zeit. Hamburg 1960. Nr. 6, bijlage. Verlag Henri Nannen GmbH.
100 Naar Davis, W. M.: als 72, blz. 370.
101 Foto: Laenderpress, Düsseldorf.
102 Naar Gagel, E.: Orion 1955.
103 als 102.
104 Woldemar Klein Verlag, Baden-Baden.
105 Naar Reeds, Ch. A.: als 72, blz. 377.
107 Naar Zatopek, A.: als 72, blz. 374.
113 Uit Pettersson, H., Die Ablagerung kosmischer Materie auf der Erde: Endeavour. London 1960. Nr. 75.
114—118 als 7.
121 Foto: H. Felten, Natur-Museum und Forschungs-Institut Senckenberg, Frankfurt/M.
122 Foto: Lamont Geological Observatory (Columbia University), Palisades, USA.
125 als 72, II, blz. 342.
126 als 72, I, blz. 56.
127 als 126, blz. 57.
129 Naar Burian, Z., Weltall, Erde, Mensch. Berlin o. J. blz. 154. Verlag Neues Leben.

130 Foto: A. Heim: als 71, blz. 143.
131 als 82.
132—135 als 126, blz. 88 en 120.
136 als 96, blz. 28.
137 als 82.
138 als 126, blz. 103.
139 als 1.
140 als 71, blz. 138.
141 Foto: R. Henrard: Journaux, A., Géographie. Paris. Blz. 25. Librairie A. Hatier.
142 Naar Rittmann, A., Vulkane und ihre Tätigkeit. Stuttgart 1960. Blz. 140. Ferdinand Enke Verlag.
143 als 52.
144 Foto: American Museum of Natural History, New York.
145—146 Naar Gagel, E.: Orion 1954.
147 als 52.
148 Associated Press Photo, London.
149 Naar Schäfer, W., Brandungswirkung an den Lavaküsten von Santorin: Natur und Volk. Frankfurt 1960. Blz. 233. Senckenbergische Naturforschende Gesellschaft.
150 als 126, blz. 174.
151 Uit Orion.
152 Foto: Fairchild Aerial Surveys, New York.
154 Foto: Ullstein-Up Nr. 19697a[1].
155—156 als 71, blz. 131.
157 als 126, blz. 345.
158 Naar Jung, H., Kleine Erdbebenkunde. Berlin-Göttingen-Heidelberg 1953. Blz. 65, Springer-Verlag.
159 als 126, blz. 352.
160—166 als 158, blz. 97 en 101.
167 Naar Weischet, W., Umschau 1962, afl. 3, blz. 80.
168 als 142, blz. 304.
169 als 71, II, blz. 319.
170 Naar Bastian, H., Weltall und Urwelt. Berlin. Safari-Verlag.
171 Met toestemming van het Brits Museum (Nat. hist.).
172 als 169, blz. 99.
173 Naar Schwarzbach, M., Das Klima der Vorzeit. Stuttgart 1961. Blz. 118. Ferdinand Enke Verlag.
174 Naturhistorisch Museum, Chicago, USA.
175 als 170.
176 Foto: Aerofilms & Aero Pictorial Ltd., London: Fisher, J. en Sir Julian Huxley, Die Welt der Natur, Stuttgart 1962, blz. 148, Chr. Belser Verlag.
177 als 173, blz. 158.
178 Naar Kossmat, F., Paläographie und Tektonik. Berlin 1931. Verlag Gebrüder Bornträger.
179 Naar Stille, H., Geologisches Wörterbuch. Stuttgart 1957. Blz. 97. Ferdinand Enke Verlag.
180 als 126, blz. 367.
181—183 Naar Kraus, E., Die Entwicklungsgeschichte der Kontinente und Ozeane. Berlin 1959. Blz. 17. Akademie Verlag.
184—186 Naar Gutenberg: als 126, blz. 380.
187—188 Naar Staub, R.: als 126, blz. 381.
189 Naar Holmes, A.: als 126, blz. 383.
190 als 181, blz. 22.
191 als 181, blz. 37.
192—196 Naar Solle, G., en Jebsen-Marwedel, Ein technisches Großexperiment zur Deutung einer geologischen Hypothese: Umschau 1953, afl. 23, blz. 724.
197 Naar Griggs uit Holmes, A., Principles of Physical-Geology. London 1949. Nelson-Verlag.
198 Naar Kober, L.: als 181, blz. 206.
199—200 Naar Runcorn, S. K.: Endeavour. London 1959. Nr. 69.
201 Naar Runcorn, S. K., Director of Department University of Durham.
202 als 126, blz. 45.
204—205 Uit McCracken, G. E., Athalygraphy: Isis. Cambridge/Mass., USA, 1948.
206 als 52.
207—208 Naar Krauß, W.: Umschau 1960, afl. 6, blz. 176.

LITERATUUR

Afkortingen. Umschau: Die Umschau in Wissenschaft und Technik. Frankfurt am Main.
Endeavour: Endeavour.

AMPFERER, O.: Een driemaandelijks in vijf talen verschijnend overzicht over de vooruitgang der wetenschap in dienst van de mensheid.
Über das Bewegungsbild von Faltengebirgen; Jahrbuch der k. k. geologischen Reichsanstalt. Band 56. Wien 1906.
BARNETT, L. und F. BOLLE: Die Welt, in der wir leben (The World we live in). München 1957.
BAVINK, B.: Ergebnisse und Probleme der Naturwissenschaften. *Eine Einführung in die heutige Naturphilosophie. 10. Aufl., Zürich 1954.*
BERINGER-MURAWSKI: Geologisches Wörterbuch. Stuttgart 1957.
BRINKMANN, R.: Abriß der Geologie. 2 Bände. Stuttgart 1959—1961.
BRONOWSKI, J.: Die Welt der Chemie, Physik und Astronomie. Stuttgart 1961.
BROUWER, Dr. A.: Algemene Paleontologie. Zeist 1959.
BROEK, A. J. P. v. d.: De dageraad der menschheid. Utrecht 1947.
BRÜCHE, E.: Der Irrgarten fliegender Geschosse im Weltraum: Orion. Murnau 1959. S. 78—82.
BRUZEK, A.: Sonnenüberwachung: Umschau 1958. H. 3, S. 79—83. — Die Ultraviolett- und Röntgenstrahlung der Sonne: Umschau. 1958. H. 11, S. 338—341. — Die Überwindung der Erdatmosphäre in der Astronomie: Umschau. 1959. H. 6, S. 181-183. — Die Radiowellenstrahlung der Sonne: Umschau. 1959. H. 20, S. 620—622; H. 22, S. 684 bis 686. — Neue UV-Spektren und Sonnenaufnahmen aus großen Höhen: Umschau. 1960. H. 8, S. 231—233. — Sonnenflecken und Fleckenzyklus: Umschau. 1962. H. 5, S. 143—146.
BÜDEL, J.: Eiszeitalter und heutiges Erdbild: Umschau. 1962. H. 1, S. 18—21.
BÜDELER, W.: Vorstoß ins Unbekannte. München 1960.
BÜLOW, K. v.: Lunare und tellurische Fundamentaltektonik: Wissenschaftliche Zeitschrift der Universität Rostock. 8. Jahrgang. Rostock 1958 bis 1959. — Planetarische Fundamentaltektonik: International Geological Congress, XXII. Session, 1960. Kopenhagen 1960. — Meteoritischer oder vulkanischer Ursprung der Mondkrater? Umschau. 1959. H. 14, S. 430—433.
BUSCHENDORF, G., H. WOLFFGRAMM, I. RADANDT: Weltall, Erde, Mensch. *Ein Sammelwerk zur Entwicklungsgeschichte von Natur und Gesellschaft. 3. Aufl., Berlin 1955.*
CLOOS, H.: Gespräch mit der Erde. Frankfurt am Main 1961.
DEFANT, A.: Ebbe und Flut des Meeres, der Atmosphäre und der Erdfeste. Berlin—Göttingen—Heidelberg 1953.
DIETRICH, G.: Ozeanographie. Braunschweig 1959.
DOLEZALEK, H.: Gewitterforschung: Umschau. 1961. H. 1, S. 14—18; H. 2, S. 51—53; H. 3, S. 82—84.
ESCHER, B. G.: Grondslagen der algemene geologie. lle druk Amsterdam 1962.
Fischer Lexikon, Band XX: Geophysik. Herausgeber J. Bartels. Frankfurt am Main 1960.
FLOHN, H. und H. REIFFERSCHEID: Radioaktive Beimengungen als Tracer für Zirkulationsvorgänge in der Atmosphäre: Umschau. 1961. H. 15, S. 468—470.
GIESSLER, A.: Das unterirdische Wasser. *Eine Einführung in die Geohydrologie.* Berlin 1957.
GRIPP, K.: Sandwind-Formen an der Nordsee-Küste: Natur und Volk. Frankfurt am Main 1960. H. 2, S. 46—59.
GROTHE, W.: Zur Vorgeschichte des Geophysikalischen Jahres: Kosmos. Stuttgart 1957. H. 8, S. 394—397; H. 9, S. 430—434; H. 11, S. 523—531.
GUTENBERG, B.: Physics of the Earth's Interior. New York—London 1959.
HAALCK, H.: Physik des Erdinnern. 2. Aufl., Leipzig 1959 — Handwörterbuch der Naturwissenschaften. 2. Aufl., Jena 1931—1935.
HESS, P.: Der ›Jet-Stream‹: Orion. Murnau/Obb. 1959.

HOINKES, H.: **Die Antarktis und die geophysikalische Erforschung der Erde: Die Naturwissenschaften. Berlin—Göttingen—Heidelberg 1961. H. 9, S. 354—374.**

HOLMES, A.: The age of the earth. London 1952.

HÜLSMANN, J.: Projekt Mohole: Naturwissenschaftliche Rundschau. 1962. H. 3, S. 94—99.

HULST, H. C. Van De: Die Struktur der Galaxie und die 21-cm-Linie: Endeavour. 1959. Nr. 71, S. 117—124.

HUXLEY, Sir J.: The Story of Evolution. London 1958.

JUNG, K.: Kleine Erdbebenkunde. Berlin—Göttingen—Heidelberg 2. Aufl. 1953.

KETTNER, R.: Allg. Geologie. (Vseobecná Geologie). 4 Bände. Berlin 1958—1960.

KIEPENHEUER, K. O.: Die Sonne. Berlin—Göttingen—Heidelberg 1957.

KOBER, L.: Das Weltbild der Erdgeschichte. Jena 1932.

KÖPPEN, W. und A. WEGENER: Die Klimate der geologischen Vorzeit. Berlin 1924.

KRAUS, E.: Die Entwicklungsgeschichte der Kontinente und Ozeane. Berlin 1959.

KRAUSS, W.: Die erste Durchbohrung der Sedimentschicht unter dem Ozean: Umschau. 1960. H. 6, S. 176—177. — Wellen in der Tiefe des Meeres: Umschau. 1961. H. 9, S. 276—278; H. 11, S. 328—331.

LANE, F. W.: Wenn die Elemente wüten (The elements rage). Zürich 1952.

LAUGHTON, A. S.: Die Photographie des Meeresbodens: Endeavour. 1959. Nr. 72, S. 178—185.

LEHMANN, I.: Erdbeben und Erforschung des Erdinnern; Endeavour. 1959. Nr. 70, S. 99—105.

LÖBSACK, T.: Der Atem der Erde. *Wunder und Rätsel der Luft.* München 1957.

LUFKIN, H.: Tiros—Nimbus—Aeros. Auf dem Wege zu einem Satelliten-Wetterdienst: Umschau. 1961. H. 19, S. 581—584.

MASSEY, Sir H.: Zur Raumforschung: Endeavour. 1961. Nr. 78, S. 61—77.

MAZAROVIC, A. N., (MASAROWITSCH): Grundlagen der regionalen Geologie der Erdteile (Osnovy regional'noj geologii materikov). Berlin 1958.

METZ, K.: Lehrbuch der tektonischen Geologie. Stuttgart 1957.

PETRI, W.: Fortschritte der Astronautik 1960: Naturwissenschaftliche Rundschau. 1961. H. 3, S. 90—94.

PETTERSSON, H.: Die Ablagerung kosmischer Materie auf der Erde: Endeavour. 1960. Nr. 75, S. 142—146.

POWELL, C. F.: Die Entstehung der kosmischen Strahlungsteilchen hoher Energie: Naturwissenschaftliche Rundschau. 1959. H. 12, S. 447—453.

RITTMANN, A.: Vulkane und ihre Tätigkeit. Stuttgart 1960.

RÖHRDANZ, K.: Wird die Erde größer? Naturwissenschaftliche Rundschau. Stuttgart 1962. H. 1, S. 21—22.

RÜGER, L.: *Die absolute Chronologie der Erdgeschichte als zeitlicher Rahmen der Phylogenie:* Die Evolution der Organismen. Herausgeber G. Heberer. 2. Aufl. Stuttgart 1959.

SCHENK, G.: Die Bärlapp-Dynastie. Berlin—Herrenalb 1960 — Gott Erde, Schöpfer und Zerstörer. Baden-Baden 1958 — Und die Erde war wüst und leer. Hannover 1962.

SCHINDEWOLF, O. H.: Grundl. und Methoden der paläontologischen Chronologie. Berlin 3. Aufl. 1950.

SCHULTHESS, E.: Antarctica. Zürich 1960.

SCHUMANN, G.: Radioaktivität der Atmosphäre, der Erde und des Ozeans: Umschau. 1958. H. 5, S. 141—143.

SCHWARZBACH, M.: Geologie in Bildern. Wittlich 1954.
Das Klima der Vorzeit. *Eine Einführung in die Paläoklimatologie.* Stuttgart 2. Aufl. 1961.

SEIBOLD, E.: Der Boden der Ozeane und die Erdgeschichte: Die Naturwissenschaften. Berlin—Göttingen—Heidelberg 1961. H. 9, S. 319—324.

SIMON, W.: Geologische Zeitrechnung im Dilemma: Naturwissenschaftliche Rundschau. 1960. H. 12, S. 461—465.

SOLLE, G. und H.: Ein technisches Großexperiment zur Deutung einer geologischen

JEBSEN-MARWEDEL: Hypothese: Umschau. 1953. H. 23, S. 724—727.

STAUB, R.: Der Bewegungsmechanismus der Erde, dargelegt am Bau der irdischen Gebirgssysteme. Berlin 1928.

STEINERT, H.: Fossile Magnete als Erdgeschichtszeugen: Umschau. 1957. H. 4, S. 101—107.

STEWART, N. G.: Radioaktive Indikatoren in der Atmosphäre: Endeavour. 1960. Nr. 76, S. 197—201.

STILLE, H.: Grundfragen der vergleichenden Tektonik. Berlin 1924.

STÖRMER, C.: The polar Aurora. Oxford 1955.

STUMPFF, K.: Die Erde als Planet. 2. Aufl., Berlin—Göttingen—Heidelberg 1955.

TOMCZAK, G.: Ergebnisse der ozeanischen Forschung im Internationalen Geophysikalischen Jahr: Umschau. 1961. H. 16, S. 499—502; H. 18, S. 570—572.

TWENHOFEL, W. H.: Principles of Sedimentation. New York 1950.

VLERK, I. M. v. d. en P. H. KUENEN: Geheimschrift der Aarde. Drie miljard jaar geschiedenis van de aardkorst en haar bewoners. 7e druk Zeist/Arnhem 1963.
Logboek der Aarde. 2e druk Zeist 1961.

VLERK, I. M. v. d. en M. F. FLORSCHÜTZ: Nederland in het ijstijdvak. Utrecht 1950.

VOIGT, H. H.: Die Häufigkeit der Elemente im Kosmos: Umschau. 1957. H. 2, S. 37—39.

WALDMEIER, M.: Fortschritte in der Radioastronomie: Naturwissenschaftliche Rundschau. 1959. H. 7, S. 243—254 — Mensch und Weltall: Naturwissenschaftliche Rundschau. 1961. H. 12, S. 455—460.

WEGENER, A.: Entstehung der Kontinente u. Ozeane. 4. Aufl., Braunschweig 1962.

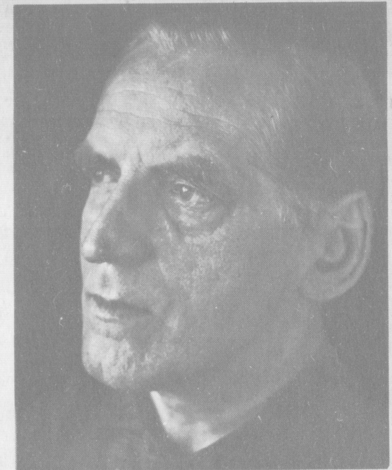
WEIBEL, M.: Geochemie: Naturwissenschaftliche Rundschau. 1962. H. 4, S. 140—145.

WOHLSTEDT, P.: Das Eiszeitalter. Stuttgart 1961.

REGISTER

Fro
wat
waa
van
Ned
voo

Gra



Gustav Schenk is een bekend popularisator op het gebied der natuurwetenschappen.
Hij heeft een groot aantal publicaties op zijn naam staan, waarvan ‹De aarde was woest en ledig› ook in het Nederlands verscheen (1960).

in deze reeks:

ustav schenk	de mens
lbert theile	kunst in afrika
ans platte	de franse impressionisten
ustav schenk	de aarde
aula kohlhaupt	alpenbloemen
eter beckmann	ziekte en gezondheid



w. de haan zeist · van loghum slaterus arnhem

gustav schenk
de aarde
4

gustav schenk



de aarde

onze planeet in het heelal





jupiterboeken / natuurwetenschap · kunst · techniek

in deze reeks:

gustav schenk	de mens
albert theile	kunst in afrika
hans platte	de franse impressionisten
gustav schenk	de aarde
paula kohlhaupt	alpenbloemen
peter beckmann	ziekte en gezondheid



w. de haan zeist · van loghum slaterus arnhem